

COMMUNAUTÉ FRANÇAISE DE BELGIQUE
ACADÉMIE UNIVERSITAIRE WALLONIE-EUROPE
UNIVERSITÉ DE LIÈGE - GEMBLoux AGRO BIO TECH



**CARACTÉRISATION DE LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE DE CULTIVARS D'OIGNON
(*ALLIUM CEPA* L.) DU NIGER EN VUE DE LEUR CONSERVATION *IN SITU* ET
DE LEUR AMÉLIORATION**

Rabiou ABDOU

Dissertation originale présentée en vue de l'obtention du grade de docteur
en sciences agronomiques et ingénierie biologique

Promoteurs : Pr. BAUDOIN Jean-Pierre, Pr. SAADOU Mahamane

Année 2014

COMMUNAUTÉ FRANÇAISE DE BELGIQUE
ACADÉMIE UNIVERSITAIRE WALLONIE-EUROPE
UNIVERSITÉ DE LIÈGE - GEMBLoux AGRO BIO TECH



**CARACTÉRISATION DE LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE DE CULTIVARS D'OIGNON
(*ALLIUM CEPA* L.) DU NIGER EN VUE DE LEUR CONSERVATION *IN SITU* ET
DE LEUR AMÉLIORATION**

Rabiou ABDOU

Dissertation originale présentée en vue de l'obtention du grade de docteur
en sciences agronomiques et ingénierie biologique

Promoteurs : Pr. BAUDOIN Jean-Pierre, Pr. SAADOU Mahamane

Année 2014

Rabiou Abdou (2014). *Caractérisation de la diversité génétique de cultivars d'oignon (Allium cepa L.) du Niger en vue de leur conservation in situ et de leur amélioration*. Thèse de doctorat. Université de Liège-Gembloux Agro-Bio Tech, 151 p.

RESUME

Plante monocotylédone, allogame, entomophile, avec un cycle cultural annuel pour la production des bulbes, bisannuel pour celle des graines, l'oignon est l'un des légumes le plus important au Niger en raison de son utilisation en alimentation et en médecine. Le semis en pépinière suivi d'un repiquage des planches est le mode de culture le plus fréquent chez les producteurs nigériens. Cette étude explore la diversité génétique des cultivars d'oignon du Niger. La diversité est à comprendre ici au sens de la diversité nommée, la diversité morphologique et la diversité moléculaire.

Cette thèse se propose d'utiliser ces trois approches complémentaires pour identifier et caractériser les variétés et écotypes selon la perception des producteurs, de caractériser la diversité morphologique et agronomique à partir des descripteurs du genre *Allium* établis par *Biodiversity International*, et d'analyser la diversité moléculaire des variétés et écotypes d'oignon du Niger à partir des marqueurs moléculaires microsatellites.

Cinquante-deux écotypes nommés ont été inventoriés, mais après analyse et regroupement des synonymes, il ressort que dix-sept écotypes sont cultivés au Niger. Les principaux critères des paysans pour caractériser un écotype local sont la couleur des bulbes et la zone de provenance. Les variables quantitatives et qualitatives les plus distinctives entre les écotypes d'oignon sont la longueur et le diamètre des feuilles, le poids des bulbes, la couleur des feuilles, la forme et la couleur des bulbes, l'uniformité de la forme et de la couleur des bulbes. La distance génétique est plus grande, d'une part, entre les écotypes les plus éloignées géographiquement, et d'autre part, entre les écotypes les plus différents au niveau des caractères morphologiques. Le nombre de morphotypes varie de un à neuf par écotype testé. Les analyses moléculaires confirment la forte variabilité à l'intérieur des écotypes et les conclusions relatives à la distance génétique observée à partir des données morphologiques.

A l'issue de ces travaux de caractérisation génétique de l'oignon, il est donc utile de combiner des stratégies de conservation *in situ* et *ex situ*, et l'exploitation de ces ressources génétiques pour améliorer la production et la rusticité des cultivars d'oignon du Niger.

Mots clés : Oignon, *Allium cepa* L., Diversité nommée, Variabilité morphologique, Diversité moléculaire, Diversité génétique, Marqueurs génétiques, Ecotypes, Niger.

Rabiou Abdou (2014). *Caractérisation de la diversité génétique de cultivars d'oignon (Allium cepa L.) du Niger en vue de leur conservation in situ et de leur amélioration*. Thèse de doctorat. Université de Liège-Gembloux Agro-Bio Tech, 151 p.

SUMMARY

Onion is a monocotyledonous, allogamous, and entomophilous plant, with one year production cycle for bulb production, and two years production cycle for seeds. Onion is one of the most significant vegetables in Niger because of its use as food and medicine. A nursery bed followed by transplanting is the most common method of cultivation used for onion production in Niger.

The present study investigated the genetic diversity of Niger onion varieties and landraces. Diversity is defined here in the sense of folk nomenclature, morphological and molecular diversity. This thesis intends to apply these three complementary approaches to identify and characterize Niger onion varieties and ecotypes according to farmers' criteria, morphological and agronomic variability based on Bioversity International scientific descriptors, molecular diversity within and among onion varieties and landraces through microsatellite markers.

Fifty two local names have been identified, but after analysis and grouping by synonyms, it was found that seventeen ecotypes were produced in Niger. The main criteria for a local ecotype naming are the color of the onion bulb and the production area. The most distinctive quantitative and qualitative variables between ecotypes are leaves length and diameter, bulbs weight, leaves color, bulbs shapes and colors, the uniformity of bulbs shapes and colors. The genetic distance was larger, on one hand, between the most geographically distant ecotypes and, on the other hand, between the most different ecotypes in terms of morphological characters. The number of morphotypes varies from one to nine by tested ecotypes. Molecular analyzes confirm the high variability within ecotypes and conclusions concerning the genetic distance observed from morphological data.

At the end of this work of onion characterization, it will be useful to combine *in situ* and *ex situ* conservation, and using this genetic resources to improve the production and rusticity of Niger onion cultivars.

Keywords: Onion, *Allium cepa* L., Folk nomenclature, Morphological variability, Molecular diversity, Genetic diversity, Genetics markers, Landraces, Niger.

Copyright. Aux termes de la loi belge du 30 juin 1994, sur le droit d'auteur et les droits voisins, seul l'auteur a le droit de reproduire partiellement ou complètement cet ouvrage de quelque façon et forme que ce soit ou d'en autoriser la reproduction partielle ou complète de quelque manière et sous quelque forme que ce soit. Toute photocopie ou reproduction sous autre forme est donc faite en violation de la dite loi et de des modifications ultérieures.

REMERCIEMENTS

Ces années de recherches en thèse entre le Niger et la Belgique ont été une expérience formidable et enrichissante sur les plans humain et scientifique. Ce travail a abouti grâce à une participation active et un encouragement permanent de plusieurs personnes et institutions que je tiens à remercier chaleureusement, du fond de mon cœur.

Ce travail de thèse de doctorat mixte entre l'Université de Liège (ULg) en Belgique et l'Université Abdou Moumouni de Niamey (UAM) au Niger n'aurait pas été réalisé si je n'avais pas bénéficié des soutiens financiers de la Coopération Technique Belge (CTB), de l'Unité de Phytotechnie Tropicale et Horticulture de Gembloux Agro-Bio Tech, et de l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES). Qu'elles reçoivent ici le témoignage de ma profonde gratitude.

Je suis très reconnaissant à l'état du Niger pour m'avoir gratifié d'un enseignement à tous les niveaux, l'Université de Abdou Moumouni de Niamey et l'Université de Maradi pour leurs participations à la cotutelle de cette thèse.

Je tiens à remercier le Royaume de Belgique, l'Université de Liège, en particulier, l'Unité de Phytotechnie Tropicale et Horticulture de Gembloux Agro-Bio Tech qui a accepté mon inscription en thèse, puis GxABT a mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour la caractérisation de la diversité génétique de l'oignon du Niger à l'aide des marqueurs moléculaires. Le service d'éco-éthologie évolutive de la Faculté des sciences de l'ULB. Des graines d'oignon du Niger ont été semées dans une serre tropicale à Gembloux et les plantes qui en résultent, ont servi de matériel végétal pour les différentes phases de l'analyse moléculaire par SSR réalisée principalement à GxABT: extraction de l'ADN, amplification PCR et révélation avec notamment un séquenceur disponible au service d'éco-éthologie évolutive de la Faculté des sciences de l'ULB.

Je tiens à remercier le département *Forest, Landscape and planning* de l'Université de Copenhague (UoC) au Danemark pour l'hospitalité et les encouragements qu'ils m'ont réservés pendant deux séjours scientifiques.

Ce travail d'analyse de la *diversité génétique* de l'oignon du Niger s'est accompli dans une *diversité des lieux*. De ce fait nous avons eu la chance d'avoir une *diversité des rencontres* et de profiter d'une *diversité des apprentissages*.

Je remercie tout particulièrement mes deux directeurs de thèse, BAUDOUIN Jean-Pierre, SAADOU Mahamane pour m'avoir fait confiance et m'avoir accompagné pendant ces années d'intenses et passionnantes recherches. Je ne vois pas d'autres mots pour exprimer ma reconnaissance à ces personnes qui ont marqué de leurs empreintes mes travaux de recherche.

Prof BAUDOUIN Jean-Pierre, Merci de votre soutien qui n'a jamais failli et toutes les facilités que vous m'avez offertes pour l'accomplissement de ce travail ; Merci pour le temps que vous m'avez consacré à chaque fois que nous avons besoin de vous ; Merci pour les contributions apportées dans l'amélioration de ce document à travers une lecture critique.

Prof SAADOU Mahamane, qui s'est résolument investi pour l'ouverture d'une formation du troisième cycle en Biologie Appliquée à la Faculté des Sciences, dont nous sommes la première promotion et n'a cessé de suivre avec attention mon évolution. Merci pour les sages conseils qu'il nous a toujours prodigués, ainsi que pour la qualité de l'enseignement qu'il nous a dispensé.

Je remercie le Prof HARDY Olivier pour la qualité de l'enseignement en génétique moléculaire qu'il nous a dispensé à l'Université Abdou Moumouni de Niamey (UAM). Merci de m'avoir initié en génétique, et accueilli au sein de votre unité pour la révélation de génotypes au séquenceur, d'être toujours à mon écoute et de me considérer comme un ami.

Mes remerciements vont au Prof BAKASSO Yacoubou pour sa contribution dans l'encadrement de cette thèse au Niger. Merci de votre soutien qui n'a jamais failli et toutes les facilités que vous m'avez offertes au Laboratoire GARBA Mounkaïla de la Faculté des Sciences de l'UAM.

J'ai eu la chance de rencontrer et de bénéficier de l'appui de divers chercheurs et enseignants. J'exprime ma gratitude et mes remerciements Hugo MAGEIN, Jean-Marie JACQUEMIN, Guy MERGEAI, André TOUSSAINT, Roger PAUL, Marie MALICE, Kasso DAÏNOU, Jean-Marc LEBLANC, Jean-Louis NOYER, Adeline BARNAUD, pour votre disponibilité, vos contributions et vos encouragements.

Mes remerciements à tout le personnel de l'Unité de Phytotechnie Tropicale et Horticulture de Gembloux Agro-Bio Tech, plus particulièrement à Luc BOLYN pour sa contribution à l'entretien des plantes dans la serre. Merci à Didier LEURQUIN et Valérie JAUMIN.

Je tiens à remercier tous ceux qui de près ou de loin nous ont apporté leur soutien, en particulier les enseignants et les collègues doctorants de l'Université Abdou Moumouni de Niamey et l'Université de Maradi au Niger. Merci à TANIMOUNE Arzika, technicien au Laboratoire GARBA Mounkaïla pour son aide et conseil technique pour le test de germination des graines et l'installation de l'essai d'évaluation agro-morphologique.

Que les producteurs d'oignon enquêtés, les membres des organisations paysannes de la filière oignon du Niger, les services d'agriculture reçoivent pour leur disponibilité nos sentiments de profondes grâces.

Merci enfin à ma famille et mes amis : Mon père El Hadji Danguwa, Ma mère Hadjia Aï, Sanoussi, Ramatou, Raïssa, Mohamed, Reagan, Ousseina, Salamatou, Bagbo, Fifiya, Harouna, Jamila, Papy, Haïdara, Lallatou, Youssouf, Zakou, Rahanatou, Soumaya, Souraya, Hamza, Ali, Fatiti, Imane, Laouli, Himou, Papa, Walihi, Abass, Abdoul, Biga, Issia, Nando, Alisto, Boubacar, Tambari, Kader, Harouna, Razack, Yerima, Marième, Bintou, Yaya, Saâdatou, Bachar, Hélène, Evelyne, Marie, merci pour vos soutiens divers et variés.

Table des matières

RESUME-----	5
SUMMARY-----	7
REMERCIEMENTS-----	10
TABLE DES MATIÈRES -----	13
1. INTRODUCTION GÉNÉRALE-----	16
1.1. Contexte de l'agriculture au Niger -----	16
1.2. Production mondiale de l'oignon -----	17
1.3. Oignon et diversité-----	17
1.4. Oignon au Niger-----	18
1.5. Objectifs et questions spécifiques -----	21
1.6. Structuration de la thèse -----	23
1.7. Références bibliographiques-----	25
2. OIGNON (<i>ALLIUM CEPA</i> L.): BIOLOGIE, SYSTÈMES DE CULTURE ET MARQUEURS GÉNÉTIQUES POUR L'ANALYSE DE LA DIVERSITÉ EN AFRIQUE. ----	27
2.1. Introduction :-----	29
2.2. Biologie du développement et de la reproduction de l'oignon-----	30
2.3. Ressources phytogénétiques -----	32
2.3.1. Origine et domestication-----	32
2.3.2. Position taxonomique-----	32
2.3.3. Croisements interspécifiques-----	33
2.3.4. Collecte et conservation des ressources génétiques -----	34
2.4. Marqueurs utilisés pour l'analyse de la diversité génétique -----	37
2.4.1. Marqueurs morphologiques-----	42
2.4.2. Marqueurs biochimiques-----	44
2.4.3. Marqueurs moléculaires -----	45
2.5. Conclusion et recommandations -----	47
2.6. Références bibliographiques-----	48

3. TAXONOMIE LOCALE ET ANALYSE DES CRITÈRES DES PAYSANS POUR CARACTÉRISER LES DIFFÉRENTS ÉCOTYPES D'OIGNON (<i>ALLIUM CEPA</i> L.) DU NIGER.	53
3.1. Introduction	55
3.2. Matériels et Méthodes	57
3.2.1. Zones d'étude	57
3.2.2. Inventaire et taxonomie des écotypes	58
3.2.3. Critères de caractérisation d'un écotpe	58
3.2.4. Analyse des données	59
3.3. Résultats	61
3.3.1. Identification et taxonomie des écotypes	61
3.3.2. Procédés de nomination	65
3.3.3. Analyse de pertinence des différents descripteurs dans les sites enquêtés	66
3.3.4. Structuration de la diversité nommée	68
3.4. Discussions	72
3.5. Conclusion	75
3.6. Références bibliographiques	76
4. VARIABILITÉ MORPHOLOGIQUE ET AGRONOMIQUE DES ÉCOTYPES D'OIGNON (<i>ALLIUM CEPA</i> L.) IDENTIFIÉES PAR LES PRODUCTEURS DU NIGER.	79
4.1. Introduction	81
4.2. Matériel et Méthodes	83
4.2.1. Zones d'étude	83
4.2.2. Matériel végétal	84
4.2.3. Dispositif expérimental	86
4.2.4. Méthodes de collecte des données	86
4.2.5. Analyses statistiques	88
4.3. Résultats	90
4.3.1. Analyse de la diversité des caractères morphologiques quantitatifs	90
4.3.2. Analyse de la diversité des caractères morphologiques qualitatifs	97
4.4. Discussion	104
4.5. Conclusion :	106
4.6. Références bibliographiques	107

5. GENETIC DIVERSITY OF NIGER ONIONS (<i>ALLIUM CEPA</i> L.) ASSESSED BY SIMPLE SEQUENCE REPEAT MARKERS (SSR).	113
5.1. Introduction	114
5.2. Materials and Methods	117
5.2.1. <i>Plant material</i>	117
5.2.2. <i>Genomic DNA isolation</i>	120
5.2.3. <i>Genetic marker analysis</i>	120
5.2.4. <i>Genotyping and statistical analysis</i>	120
5.3. Results	122
5.3.1. <i>Genetic diversity within landraces</i>	122
5.3.2. <i>Genetic structure among landraces</i>	124
5.3.3. <i>Assignment test</i>	128
5.4. Discussion	129
5.5. Conclusion	132
5.6. References	133
6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	140
6.1. Analyse de la diversité génétique de l'oignon du Niger	140
6.1.1. <i>Analyse de la diversité nommée</i>	141
6.1.2. <i>Analyse de la diversité morphologique et agronomique</i>	142
6.1.3. <i>Analyse de la diversité moléculaire</i>	142
6.2. Analyse de la structuration génétique des écotypes d'oignon du Niger	143
6.3. Perspectives	145
6.3.1. <i>Intérêt des résultats pour la conservation et la gestion de la diversité génétique</i>	145
6.3.2. <i>Intérêt des résultats pour l'amélioration des écotypes d'oignon du Niger :</i>	147
6.4. Références bibliographiques	150

1. Introduction générale

1.1. Contexte de l'agriculture au Niger

Le Niger, pays sahélien continental d'Afrique, couvre une superficie de 1 267 000 km². Son territoire est à cheval sur la partie nord de la zone soudanienne, la zone sahélienne et le Sahara méridional. Les conditions climatiques particulières à chacune de ces zones déterminent largement leurs potentialités agricoles. Seulement 11,8 % du territoire, soit une bande méridionale de 200 km de large, est une partie assez bien arrosée qui se prête à l'agriculture pluviale (Mahamane et *al.*, 2005).

Le pays fait face à une insécurité alimentaire structurelle et des crises récurrentes traduisant l'extrême fragilité de l'économie et la précarité du mode de vie d'une frange importante de la population en particulier rurale. La faible performance des exploitations agricoles dérive de la forte sensibilité des systèmes de culture pluviaux aux risques climatiques, et à l'insuffisance des politiques et stratégies mises en place pour accompagner les producteurs. Bien que le pays dispose d'importantes ressources naturelles, il n'arrive pas à assurer une alimentation saine et suffisante à l'ensemble de la population, en tout temps et en tout lieu. Les différentes contraintes des systèmes de production agricole expliquent la précarité et le caractère aléatoire des rendements, exposant les ruraux au spectre douloureux de la famine et d'un déficit alimentaire chronique (Seidou et *al.*, 2012).

En dépit de toutes les contraintes des systèmes de culture, le Niger dispose d'atouts importants qui pourraient assurer le développement de son agriculture. Ainsi, aux côtés des cultures comme le mil, le sorgho et le niébé qui resteront sans doute longtemps encore prépondérantes chez la majorité des exploitants, le Niger peut miser sur les cultures irriguées et son important potentiel de cultures dites secondaires comme le riz, le maïs, l'oignon, le sésame, la canne à sucre, le souchet, l'oseille pour développer son agriculture. Ces cultures dites secondaires constituent un véritable rempart aux cultures principales soit comme complément alimentaire soit comme source de revenu (Adam et *al.*, 1995).

1.2. Production mondiale de l'oignon

Classée au deuxième rang mondial après les tomates sur la liste des légumes cultivés, les oignons sont produits partout dans le monde, à différentes latitudes où ils se développent régulièrement. En 2011, la production mondiale de l'oignon fut de l'ordre de $86,34.10^6$ tonnes/an (t/an), avec $56,70.10^6$ t/an pour l'Asie. Les principaux pays producteurs sont la Chine Populaire avec 24 764 801 t/an, l'Inde avec 15 929 642 t/an et les Etats-Unis d'Amérique (USA) avec 3 360 970 t/an. A cette liste, s'ajoutent certains pays de l'Europe dont la Russie, la Hollande, l'Espagne et l'Ukraine (FAOSTAT, 2011). Sur le continent Africain, les principaux pays producteurs d'oignon sont l'Egypte, l'Algérie, le Maroc, l'Afrique du sud, le Nigeria et le Niger (Currah, 2002). Entre 1980 et 2011, la production mondiale est passée de 22,40 à 86,34 millions de tonnes par an. Toutefois, la production des pays en développement dont l'Afrique et certains pays latino-américains a connu une croissance de 68% contre une progression de 34% dans les pays industrialisés (FAOSTAT, 2011). L'oignon fait l'objet d'une production croissante depuis une vingtaine d'années dans divers pays d'Afrique subsaharienne comme le Niger, le Burkina, le Mali et le Sénégal. Cette croissance correspond au développement du maraîchage de saison sèche, à une stratégie de rattrapage des mauvaises campagnes agricoles de saison des pluies et à une diversification des sources de revenu (Cathala *et al.*, 2003).

1.3. Oignon et diversité

L'oignon appartient à la famille des *Alliaceae* et au genre *Allium*. La caractéristique principale de cette famille est la présence d'un bulbe formé par le renflement plus ou moins important de la base des feuilles (Fristsch et Friesen, 2002). Selon Jones et Mann (1963), l'espèce *Allium cepa* est subdivisée en trois groupes horticoles : *common onion*, *proliferum* et *aggregatum groups*.

Il existe une très grande diversité variétale, classée selon la couleur, la forme et la taille des bulbes ; leur mode de culture ; leur destination pour la vente ; la longueur du jour minimale nécessaire à la formation du bulbe (Ricroh *et al.*, 1996). Le goût et l'aptitude des bulbes à la conservation sont aussi des variantes qui permettent de caractériser les oignons de l'Afrique (Moumouni, 2006). Selon Currah (2002), les différentes variétés de l'oignon sont très sensibles à la longueur de jour. Dans les conditions de culture du Niger, où la durée des journées est courte, les variétés des jours courts

conviennent particulièrement (Nabos, 1976). Les types d'oignon cultivés au Niger sont classés dans la catégorie d'oignon des jours courts.

Notre étude porte sur la caractérisation de la diversité génétique de l'oignon au Niger. Cependant, quel terme faut-il employer pour designer cette diversité? Cette question s'est posée aux premières heures de cette thèse et a fait l'objet de nombreux débats et définitions. Doit-on parler d'accession, de cultivar, d'écotype, de morphotype, de variété traditionnelle, de variété paysanne, de variété améliorée?

Dans ce document le terme variété améliorée signifie que la variété a fait l'objet d'amélioration par des centres publics ou privés de sélection végétale. Les variétés paysannes ou encore variétés populations sont employées pour designer des variétés sélectionnées par les communautés rurales (Abdou et *al.*, 2014).

Selon Leland (1987), l'écotype est une population qui présente des formes particulièrement adaptées à un milieu bien déterminé. De ce fait, les écotypes sont des variétés paysannes adaptées à un milieu bien déterminé, et se réfère toujours à une écologie spécifique qui a conduit à une distinction morphologique et génétique avec la population d'origine. Toutefois, Boukary et *al.* (2012) et Moumouni (2006) désignent les variétés paysannes de l'oignon du Niger par des écotypes. Dans ce document le terme écotype se réfère à une variété paysanne.

Nous emploierons le terme de cultivar pour designer les variétés améliorées et paysannes de l'oignon du Niger.

L'accession est le nom que nous avons donné à un lot de semences collecté chez différents producteurs pour l'identifier lorsqu'il entre dans notre collection de semences (Grandval, 2011). Ainsi, dans ce document une accession est un lot de semences d'une variété améliorée ou paysanne utilisée pour la caractérisation génétique de l'oignon.

1.4. Oignon au Niger

La *figure 1* illustre les zones agroclimatiques du Niger. Le climat est de type désertique ou saharien au nord, sahélien à l'ouest, au centre-sud et à l'est, puis soudanien dans l'extrême sud-ouest. Les précipitations moyennes annuelles varient considérablement, de 200 mm dans la zone à climat saharien au nord à plus de 600 mm dans la zone à climat soudanien au sud. Les températures sont

aussi variables avec une moyenne des minima de 20 °C et une moyenne des maxima de 37 °C. A l'exception de la partie Nord du pays, Le climat du Niger est caractérisé par deux saisons bien distinctes : une saison de pluie allant de juin à septembre, une saison sèche allant d'octobre à mai (Moumouni, 2006).

La culture de l'oignon se pratique préférentiellement pendant la saison sèche et fraîche. Cependant les producteurs de la Région de Tahoua, située au centre-sud du pays et considérée comme la principale zone de production, anticipent la culture pendant la saison des pluies par la mise en place de pépinières entre juillet et août afin d'effectuer la première récolte des bulbes en décembre. Tarchiani et *al.*, (2013) signalent que les producteurs de cette zone réalisent deux à trois campagnes de production avec chevauchement des travaux d'une campagne à l'autre. La première campagne de culture d'oignon commence en juillet pour se terminer en novembre-décembre. La deuxième campagne commence en novembre-décembre et finit en mars-avril ; et la troisième qui chevauche la deuxième commence au mois de janvier-février pour se terminer en mai.

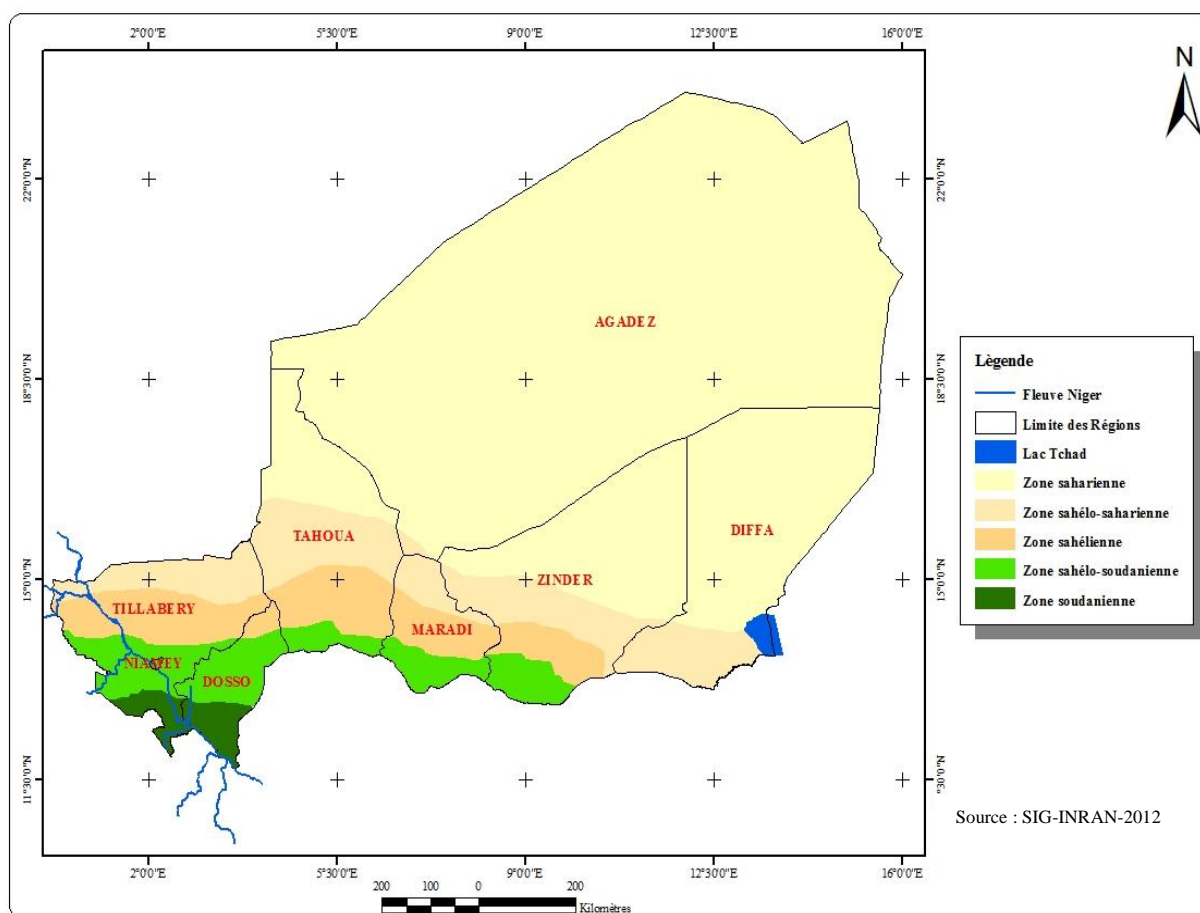


Figure 1 : Zones agroclimatiques du Niger

David (1999) mentionne que l'introduction de l'oignon au Niger serait liée aux échanges transsahariens pratiqués par les commerçants musulmans durant le XVII^e siècle. La culture aurait commencé en Egypte, se serait ensuite propagée vers le sud du Soudan, l'Ethiopie et le Niger. Selon Abdou et *al.* (2014), l'oignon est cultivé à l'est du pays dans la vallée du fleuve Niger; au centre-ouest dans la zone des vallées *Ader-Doutchi-Maggia* et *Goulbi* ; au centre-est du pays dans la zone des vallées de *Korama*, à l'extrême est dans la vallée du Lac Tchad et au Nord dans la vallée d'*Irhazer*. La **Figure 2** indique la localisation des zones de culture de l'oignon du Niger.

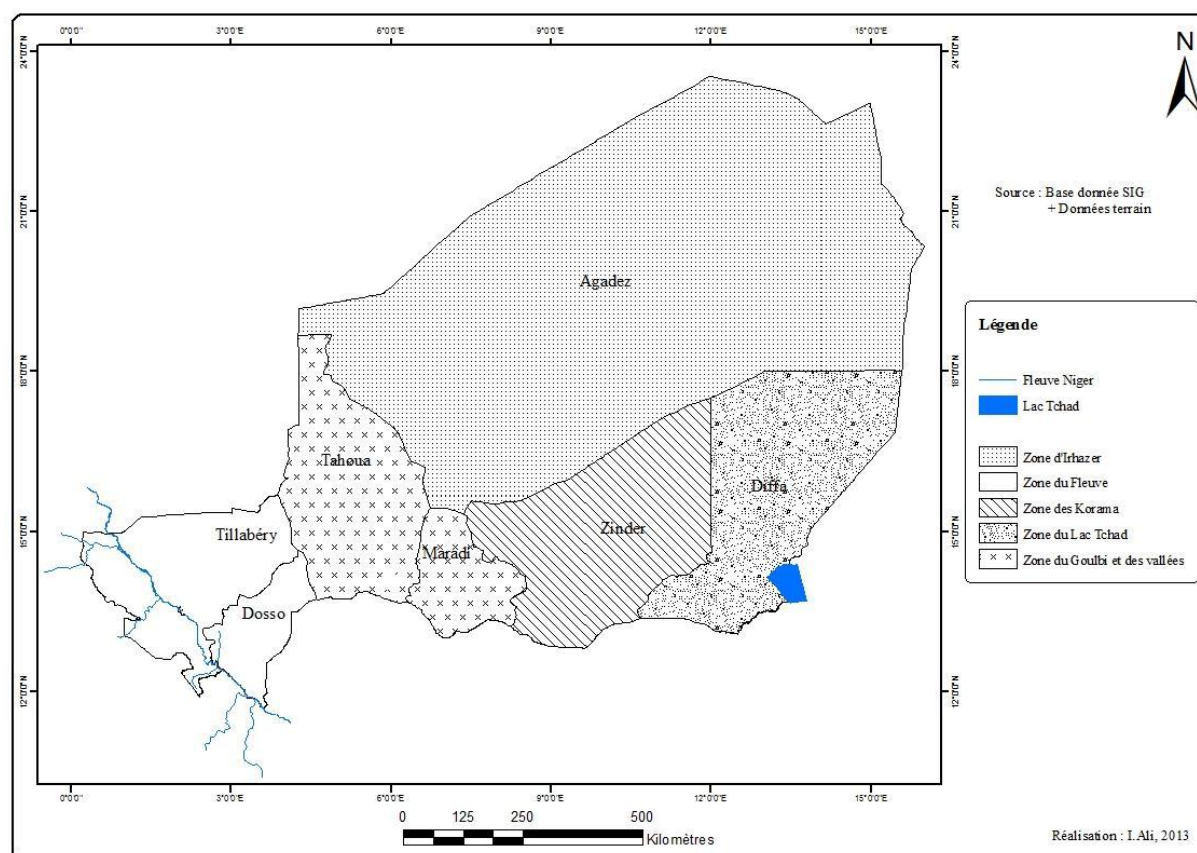


Figure 2 : Localisation des zones de cultures de l'oignon au Niger

L'oignon est la culture maraîchère la plus importante au Niger eu égard à sa place dans les systèmes de production, l'économie et l'alimentation. Les producteurs de la principale zone de production qui est localisée dans les vallées *Ader-Doutchi-Maggia*, ont une grande tradition de culture et de la production de l'oignon (Tarchiani et *al.*, 2013). Dans cette zone, les systèmes de cultures sont des planches ou des casiers de forme rectangulaire avec une configuration spéciale des planches en adéquation avec l'irrigation par gravitation. Ce système en casier est une forme d'adaptation qui vise à

mieux valoriser la ressource en eau, à optimiser la main d'œuvre pour l'irrigation et occuper le maximum de superficie par la réduction des passages entre les casiers (**Figure 3**).



Figure 3 : Aspect de planches confectionnées pour la culture de l'oignon au Niger

Les bulbes d'oignon des variétés et écotypes d'oignon du Niger sont extrêmement variables en ce qui concerne la forme, la taille et la couleur. La couleur des bulbes d'oignon et les zones de production sont les principaux critères de la classification variétale par les producteurs d'oignon au Niger (Abdou et *al.*, 2014). La couleur des bulbes est principalement régie par une série de gènes à hérédité mendélienne simple (EI-Shafie et Davis, 1967), la couleur blanche du bulbe peut être attribuée soit à un gène inhibiteur de couleur dominant, qui supprime toute coloration, soit à un gène récessif conférant aux tuniques leur teinte blanche. Au Niger, les mutants incolores *Blanc de Galmi* et *Blanc de Soumarana* apparus respectivement dans les variétés issues du programme de sélection variétale *Violet de Galmi* et *Violet de Soumarana* ont servi de point de départ à la création de nouvelles variétés de l'oignon blanc (Nabos, 1976).

1.5. Objectifs et questions spécifiques

La convention sur la diversité biologique (CDB) signée en juin 1992 à Rio de Janeiro (Brésil) à l'occasion de la conférence des Nations Unies pour l'environnement a fait la promotion d'une approche complète pour la conservation et l'utilisation durable des ressources biologiques. En effet, elle prône dans le cadre de la conservation de la biodiversité, la prise en compte de l'intégralité des écosystèmes, des principes du développement durable et des connaissances, innovations et pratiques des communautés locales (Bergonzini, 2004 ; CNEDD, 1998).

La dégradation de la biodiversité est due essentiellement aux actions anthropiques de nature variée dont les activités agricoles, l'urbanisation et la surexploitation des espèces. L'agriculture intensive, ou

par extension, le changement d'affectation des terres est sans doute l'une des causes de la réduction de la biodiversité (Bergonzini, 2004). Or, la réduction de la diversité biologique d'une espèce peut diminuer sa flexibilité et sa résistance face aux stress biotiques et abiotiques (PNUD, 2002).

Au Niger, la perte de diversité est observée dans certaines zones de production d'oignon. Selon Nabos (1976), l'*Institut de Recherche Agricole Tropicale* (IRAT) du Niger dispose dans sa collection de 21 écotypes de la région de Tahoua, principale zone de production de l'oignon au Niger ; alors que récemment, Moumouni (2006) a identifié seulement quatre écotypes de cette même zone. Cette situation fait craindre une perte d'écotypes locaux dans tout le pays.

Face à l'érosion de la diversité biologique, collecter, gérer et préserver la diversité des écotypes d'oignon de l'ensemble des zones de production dans un contexte de modernisation et changements agricoles qui induisent de nouvelles pressions est devenu primordial. Un autre enjeu important de la compréhension de la diversité des écotypes d'oignon du Niger est l'exploitation des ressources génétiques pour la sélection de variétés productives et durables.

La question relative à la diversité génétique maintenue par les producteurs d'oignon du Niger est fondamentale si l'on veut pouvoir définir convenablement une stratégie de conservation de ce capital génétique et de son amélioration pour permettre non seulement la disponibilité permanente des types en voie de disparition mais aussi la mise au point des variétés productives et mieux adaptées aux conditions écologiques du Niger et aux exigences des consommateurs locaux et internationaux.

En résumé, les questions spécifiques abordées par la présente étude sont les suivantes :

- Etant donné le rôle crucial des producteurs dans la conservation des écotypes locaux, il est important de connaître le nombre de catégories nommées qui sont identifiées par ces producteurs. Comment est perçue, nommée et classée la diversité génétique de l'oignon du Niger par les producteurs? Quelles sont les critères que ces producteurs du Niger utilisent pour caractériser un écotype? Comment cette diversité nommée est elle structurée ?
- Barnaud (2007) mentionne que la classification populaire ne reflète pas toujours la structure génétique des populations. Quels sont les liens entre la classification des producteurs et la structuration génétique des écotypes d'oignon du Niger? Quelle est la base morphologique et génétique de la diversité des écotypes locaux?

Cette thèse propose d'étudier, en premier lieu la perception de la diversité des variétés et écotypes d'oignon du Niger par les producteurs, puis la caractérisation de la diversité agro-morphologique à partir des descripteurs du genre *Allium* établis par l'IPGRI (2001), et l'analyse de la diversité génétique des variétés et écotypes d'oignon du Niger à partir des marqueurs moléculaires microsatellites.

1.6. Structuration de la thèse

Pour répondre aux questions posées dans cette thèse une approche pluridisciplinaire s'appuyant sur des outils d'analyse complémentaire a été menée. Le **Tableau 1** récapitule les différentes approches développées dans cette thèse, les objectifs principaux et les effectifs d'échantillonnage.

Tableau 1 : objectifs principaux, effectifs d'échantillonnage, méthodologies appliquées

Objectifs principaux	Echantillons analysés	Méthodologie
1. Identifier et classer la diversité des écotypes d'oignon du Niger selon la perception des producteurs	110 personnes enquêtées	Enquêtes, observations aux champs
2. Caractériser les différents échantillons d'oignon sur le plan de leur morphologie	16 écotypes (essai en station)	Descripteurs morphologiques (IPGRI, 2001)
3. Etudier la variabilité génétique avec les marqueurs moléculaires microsatellites pour caractériser et structurer la diversité génétique des écotypes d'oignon du Niger	16 écotypes analysés (240 individus génotypés)	6 loci microsatellites

Ce document de thèse compile un ensemble d'articles en préparation, ou acceptés qui tentent de répondre aux questions précédemment évoquées. Les résultats et leur synthèse sont présentés dans l'ordre qui suit.

L'article 1 présente la synthèse bibliographique sur l'oignon. Cette partie de la thèse décrit l'état de l'art relatif à la biologie, les systèmes de culture et les marqueurs génétiques pour l'analyse de la diversité des types d'oignon. Cette synthèse a été conduite avec une attention particulière pour les travaux de recherche conduits en Afrique tropicale en général, et au Niger en particulier.

L'article 2 présente la taxonomie locale et l'analyse des critères des paysans pour caractériser les différents écotypes d'oignon du Niger. L'objet de ce chapitre est de décrire et d'analyser la diversité des écotypes d'oignon telle qu'elle est perçue par les producteurs du Niger, ainsi que les critères que les producteurs du Niger utilisent pour caractériser cette diversité. Sont ainsi décrites la nomenclature et la classification des écotypes d'oignon par les producteurs du Niger.

L'article 3 présente la variabilité morphologique et agronomique des écotypes d'oignon identifiés par les producteurs du Niger. Les descripteurs morphologiques et agronomiques du genre *Allium* établis par *Bioversity International* sont utilisés pour caractériser la diversité entre et à l'intérieur des écotypes identifiés par les producteurs d'oignon. Les variables qualitatives et quantitatives les plus distinctives entre et à l'intérieur des écotypes d'oignon sont présentées. La structuration de la diversité des écotypes d'oignon du Niger à partir des données d'évaluation morphologique et agronomique a aussi été discutée.

L'article 4 étudie la diversité génétique entre et à l'intérieur des écotypes d'oignon du Niger à partir de marqueurs moléculaires. Ces marqueurs moléculaires neutres ont permis d'analyser la diversité génétique des écotypes, d'estimer la distance génétique entre écotypes, et d'identifier les groupes originaux.

La dernière partie de ce document de thèse est la conclusion générale et les perspectives. Ce chapitre est une synthèse des informations et résultats majeurs tirés des différents chapitres. La classification populaire et la structure de la diversité morphologique et moléculaire des écotypes sont discutées. Des propositions sont finalement formulées en termes de conservation et d'amélioration des écotypes d'oignon du Niger.

1.7. Références bibliographiques

- Abdou R., Malice M., Bakasso Y., Saadou M. & Baudoin J.P.,** 2014. Taxonomie locale et analyse des critères des paysans pour caractériser les différents écotypes d'oignon (*Allium cepa* L.) du Niger. *Cah. Agric.* xx : 1-11. doi : 10.1684/agr.2014.0700 (*In press*).
- Adam T.,** 1995 : Etude de deux parasites d'origine tellurique sur le niebe : *Macrophomina phaseolina* Goïd et *Striga gesneroïdes* Willd. Thèse de Doctorat es sciences naturelles, *Université Abdou Moumouni*, 102p.
- Barnaud A.,** 2007. Savoirs, pratiques et dynamique de la diversité génétique : le sorgho (*Sorghum bicolor* ssp. *bicolor*) chez les Duupa du nord Cameroun, *Thèse Université Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc*, 135 p.
- Bergonzini Jean Claude,** 2004. Changements climatiques, Désertification, diversité biologique et forêts. Paris France, SILVA RIAT 146 pages.
- Boukary H., Roumba A., Adam T., Barage M. & Saadou M.,** 2012. Interactions entre la variabilité des écotypes de l'oignon (*Allium cepa* L.) et les facteurs agro-climatiques au Niger. *TROPICULTURA*, 30 (4), 209-215.
- Cathala M., Woin N & Essang T,** 2003. L'oignon, une production en plein essor en Afrique sahélo-soudanienne : le cas du Nord-Cameroun. *Cah. Agric.* 12 (4), 261-266.
- CNEDD (Conseil National de l'Environnement pour un développement durable),** 1998. Plan national de l'environnement pour un développement durable, Niamey (Niger) 76 pages.
- Currah L.,** 2002. Onions in the Tropics: Cultivars and Country Reports. In *Allium Crop Science: Recent advances*, ed. H.D. Rabinowitch and L. Currah, 379-408. Wallingford, Oxon, UK: CABI Publishing; New York, NY, USA: CABI Publishing.
- DAVID O.,** 1999. Les réseaux marchands africains face à l'approvisionnement d'Abidjan. Thèse de Géographie. *Université Paris X*, 645 p.
- El-Shafie M.W. & Davis G.N.,** 1967. Inheritance of bulb color in the onion (*Allium cepa* L.). *Hilgardia* 38, 607–622.
- FAOSTAT,** 2011. *Base de données statistiques agricoles FAO*, <http://faostat.fao.org/> (10/09/2013).

- Fritsch, R.M. & Friesen N.**, 2002. Evolution, domestication and taxonomy. *In* : Rabinowitch H.D. & Currah L., eds., *Allium Crop Science: Recent Advances*, CABI Publ., Wallingford, UK, 5-30.
- Grandval F.**, 2011. Quelques définitions clés pour aborder ce dossier « semences », *Grain de sel*, 52-53 : 39-40.
- IPGRI, ECP/GR, AVRDC**, 2001. *Descriptors for Allium (Allium spp.)*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy; European Cooperative Programme for Crop Genetic Resources Networks (ECP/GR), Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan, 43p.
- Jones H. A. & Mann L. K.**, 1963. *Onions and Their Allies: Botany, Cultivation, and Utilization*, New York: Interscience Publishers, 286 p.
- Leland R H**, 1987. Manuel pour la sélection du sorgho. (2^e éd.). *Andhra Pradesh*, Inde : ICRISAT.
- Mahamane L., Mahamane S & Nonguierma A.**, 2005. Détermination du degré d'aridité bioclimatique de sept localités du département de Tillabéri (sud-ouest du Niger) : classement en zones bioclimatiques, *Sécheresse* 2005 ; 16 (2) : 107-114.
- Moumouni A. D.**, 2006. Les effets de la réappropriation de la culture du Violet de Galmi par les producteurs d'oignon de la région de Tahoua – NIGER, sur la dynamique du territoire local, l'organisation sociale et économique, *Thèse Université De Toulouse - Le Mirail*, 281 p.
- Nabos J.**, 1976. L'amélioration de l'oignon (*Allium cepa* L.) au Niger. *Agronomie tropicale*, Vol XXXI, N°4, IRAT Paris, 387- 397.
- PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement)**, 2002. Ressources mondiales 2000-2001. Washington, USA, ESKA, 389 pages
- Ricroch A, Rouamba A & Sarr A**, 1996. Valorisation de la production de l'oignon en Afrique de l'Ouest par la gestion dynamique de ses ressources génétiques. *Acta bot. Gallica* 143 (2/3) : 101-106.
- Seidou O., Alhassane A., & Sarr B.**, 2012. Le Niger peut-il stabiliser sa production de mil en dépit de la variabilité climatique?. *Transplantation*, 21, 06.
- Tarchiani V., Robbiati G. & Salifou M.R.**, 2013. Filières oignon en Afrique de l'Ouest : étude comparée des filières nigérienne et béninoise. *Cah Agric*, 22 : 112-123.

2. Oignon (*Allium cepa* L.) : biologie, systèmes de culture et marqueurs génétiques pour l'analyse de la diversité en Afrique.

ABDOU Rabiou, BAKASSO Yacoubou, ADAM Toudou, SAADOU Mahamane,
BAUDOIN Jean-Pierre

Article Soumis dans la revue BASE

Résumé:

Cette étude synthétise les principaux résultats sur la biologie de l'oignon, les ressources phytogénétiques, la position taxonomique ainsi que les marqueurs morphologiques, biochimiques et moléculaires pour l'analyse de la diversité génétique de l'oignon en Afrique. Plante monocotylédone, allogame, entomophile, avec un cycle cultural annuel pour la production des bulbes, bisannuel pour celle des graines, l'oignon est l'un des légumes le plus important au monde en raison de son utilisation en alimentation et en médecine. Afin de caractériser la diversité génétique de l'oignon, 28 marqueurs morphologiques ont été définis sur base de l'observation des graines, des feuilles, des fleurs et des bulbes. Des marqueurs biochimiques et moléculaires ont aussi été développés, notamment pour analyser les variations génétiques entre et à l'intérieur des variétés. Les études antérieures ont montré que seules six enzymes sont polymorphes entre les variétés de l'oignon. Toutefois, vingt-quatre enzymes ont été utilisées pour analyser la diversité génétique entre l'espèce *Allium cepa* et les autres espèces du genre *Allium*. Ce nombre limité des marqueurs biochimiques polymorphes rend difficile l'analyse de la diversité génétique chez l'oignon. Les marqueurs moléculaires directement issus du polymorphisme existant au niveau de l'ADN, comme RAPD, RFLP, AFLP, SSR, sont très utiles pour différencier les différentes variétés de l'oignon, pour distinguer l'espèce des autres espèces cultivées et spontanées du genre *Allium* et pour analyser les niveaux d'introgression entre l'oignon et d'autres espèces du genre.

Mots clés : Oignon, *Allium cepa* L., Marqueurs génétiques, Diversité génétique

Abstract:

This study points out the major information on biology, genetic resources, taxonomy, as well as morphological, biochemical and molecular markers for a better understanding of the onion (*Allium cepa* L.) genetic diversity, with a particular attention for Africa. Onion is a monocotyledonous, allogamous, and entomophilous plant, with one year production cycle for bulb production, and two years production cycle for seeds. The onion is one of the most significant vegetables in the world because of its use as food and medicine. Twenty-eight morphological markers, linked to seed, leave, flower and bulb traits, were identified as the most discriminant phenotypical criteria. Biochemical and molecular markers were also developed to characterize genetic variations among and within onion varieties. Previous studies showed that only six enzyme systems are polymorphic between varieties of onion. However, twenty-four isozymes have been used to compare onion to other *Allium* species. This low polymorphic biochemical markers makes more difficult the genetic diversity of onions. On the other hand, molecular markers at DNA level, like RAPD, RFLP, AFLP, SSR, are very useful to analyze diversity at varietal and species level, using cultivated and spontaneous forms, and to analyze the level of introgression between onion and the other species of the genus.

Keywords: Onion, *Allium cepa* L., Genetics markers, Genetic diversity

2.1. Introduction :

Les espèces alimentaires : oignon (*Allium cepa* L.), oignon multipliant (*Allium fistulosum* L.), ail (*Allium sativum* L.) et poireau (*Allium ampeloprasum* L.) sont des monocotylédones herbacées appartenant à la même famille des Alliacees (Fritsch et Friesen, 2002). La domestication de l'oignon s'est accompagnée au cours du temps d'une sélection de cultivars ayant un développement important du bulbe au cours de la première année de culture. Connu des Egyptiens, des Romains et des Grecs, cette espèce fut d'abord exploitée comme plante médicinale avant de devenir un condiment ou légume (De Lannoy, 2001). Sur la liste des légumes les plus cultivés au monde, les oignons sont classés deuxième, précédés par les tomates. Les oignons sont produits partout dans le monde, à différentes latitudes entre 10°S et 65°N (Foury et Schweisguth, 1992). En 2012, la production mondiale de l'oignon fut de l'ordre de 82,85.10⁶ tonnes/an (t/an), avec 56,73.10⁶ t/an pour l'Asie. Les principaux pays producteurs sont la Chine Populaire avec 22 600 000 t/an, l'Inde avec 16 308 990 t/an et les Etats-Unis d'Amérique (USA) avec 3 277 460 t/an. Sur le continent Africain, les principaux pays producteurs d'oignon sont l'Egypte avec 2 024 881 t/an, l'Algérie avec 1 183 268 t/an, le Maroc avec 855 764 t/an et le Niger avec 382 000 t/an (FAOSTAT, 2013).

Selon Currah (2002), les différentes variétés de l'oignon sont très sensibles à la longueur de jour. Elles sont généralement regroupées en trois catégories : les variétés de jours courts, de jours moyens et de jours longs avec des besoins respectivement de 8 à 12 heures, de 13 à 14 heures et de 14 à 16 heures de lumière par jour pour la bulbification. Dans les conditions de culture d'Afrique tropicale, les variétés de jours courts sont les mieux adaptées (De Lannoy, 2001). De nos jours, on peut trouver en Afrique des oignons avec des couleurs, goûts et formes de bulbes différents. Ils sont utilisés comme condiment dans plusieurs types de plats soit cuits au ragoût, soit frits avant d'être consommés (Foury et Schweisguth, 1992). Cependant, ils sont aussi mangés crus, particulièrement les oignons sucrés qui ont un goût doux (Boulineau et *al.*, 2006). En outre, les oignons sont utilisés dans les produits destinés aux soins, à la beauté du visage et du corps comme pommades, poudres et parfums. L'oignon a aussi des vertus en médecine, en réduisant le risque des maladies cardio-vasculaires (Craig, 1999). Certains composés de l'oignon comme les organo-sulfurés, flavonoïdes et fructanes sont conseillés pour assurer

la santé du corps humain. Les composés organo-sulfurés donnent aux espèces du genre *Allium*, leur goût et odeur spécifique (Kamenetsky et al., 2005).

Pour conserver et utiliser la diversité génétique de l'oignon d'Afrique, il faut d'abord la caractériser, c'est à dire mesurer son étendue et sa distribution. La présente étude a pour objectif de synthétiser les informations les plus pertinentes sur la biologie de l'oignon, sa position taxonomique, les ressources génétiques ainsi que les marqueurs morphologiques, biochimiques et moléculaires au service de l'analyse de la diversité génétique de l'oignon en Afrique. Les perspectives de cette étude doivent permettre de mettre en évidence des axes prioritaires de recherche pour mieux comprendre l'organisation de la variabilité génétique de l'oignon en Afrique et mieux gérer cette variabilité en terme de conservation et amélioration de l'espèce.

2.2. Biologie du développement et de la reproduction de l'oignon

Le cycle cultural de l'oignon est généralement annuel pour la production des bulbes, et bisannuel pour celle des graines (Fristsch et Friesen, 2002). La tige de l'oignon est constituée par un plateau sur lequel s'insèrent des feuilles allongées, cylindriques et creuses et d'où partent des racines adventives. La base des feuilles peut se renfler lorsque les conditions sont favorables et former un bulbe surmonté par une fausse tige ou collet. Le bulbe d'oignon est composé d'écailles charnues et est recouvert extérieurement d'une ou de plusieurs couches d'écailles desséchées qui sont aussi appelées tuniques (Foury et Schweisguth, 1992).

Après une phase de bulbification, puis d'arrêt de croissance et de dormance, le bulbe se remet normalement en végétation. Au cas où il y a initiation de la floraison, la plante peut émettre une ou plusieurs hampes florales. Ces dernières sont creuses, cylindriques, renflées en un endroit et se terminent par une ombelle composée de 200 à 700 fleurs bisexuées de couleur blanc verdâtre. Le fruit est une capsule contenant des graines de petite taille (200 à 300 au gramme), noires, anguleuses et dures. Chaque ombelle produit généralement 100 à 1500 graines (De Lannoy, 2001).

Chaque fleur a six étamines et un ovaire supère à trois loges contenant chacune deux gros ovules. Le pollen est émis avant que le stigmate ne soit réceptif. La fécondation croisée est donc dominante dans la mesure où les étamines sont mûres avant le pistil. Les abeilles (*Apis mellifera* L.), les bourdons (*Bombus pascuorum* Scopoli), les guêpes (*Vespula vulgaris* L.) et les mouches (*Musca domestica* L.)

constituent les agents de pollinisation les plus actifs (De Lannoy, 2001 ; Fritsch et Friesen, 2002). En Afrique, le regroupement des petites parcelles appartenant à plusieurs exploitants et la fécondation croisée de l'oignon favorisent des flux de gènes entre les écotypes cultivés (Rouamba et *al.*, 1997). Cependant une autofécondation est également possible entre les différentes fleurs, d'une même plante, qui s'épanouissent successivement sur une même ombelle pendant une période de 3 à 4 semaines. Cette autofécondation, si elle est répétée, provoque une baisse de la vigueur des plantes obtenues à partir des graines (Foury et Schweisguth, 1992).

L'utilisation de la stérilité mâle est le moyen le plus économique pour produire commercialement des semences hybrides entre lignées sélectionnées. Jones et Clarke (1943) ont montré que la stérilité mâle de l'oignon est de type génocytoplasmique à déterminisme simple, avec un cytoplasme *S* (inducteur de stérilité) et des gènes nucléaires *ms* de maintien de la stérilité et *Ms* de restauration de la fertilité. Toutes les plantes avec le cytoplasme normal (*N*) sont fertiles quel que soit le génotype au niveau du locus de restauration de la fertilité. Une deuxième source de stérilité mâle génocytoplasmique a été décrite chez des cultivars d'oignon créés en Europe (Berninger, 1965). Cette stérilité est déterminée par un cytoplasme *T* différent de *S* et trois gènes nucléaires récessifs, l'un étant indépendant des deux autres qui sont complémentaires (Schweisguth, 1973).

Currah (2002) mentionne que le semis direct, le semis en pépinière suivi d'un repiquage et la plantation de bulbilles sont les trois modes d'installation de la culture observés dans les pays tropicaux d'Afrique. Toutefois dans beaucoup de pays, notamment au Niger, le semis en pépinière est de loin la méthode de production la plus utilisée. Le semis des graines en pépinière, suivi d'un repiquage, permet le choix des plantes qui s'adaptent mieux à la concurrence au champ : on évite ainsi tout retard dans la reprise et la croissance ultérieure des jeunes plantes d'oignon.

En Afrique, on assiste à une adoption partielle des semences certifiées de l'oignon produites par des centres de sélection variétale publics ou privés. En Afrique australe les semences hybrides des variétés *Tropicana F1* et *Dessex F1* sont largement diffusées. Par contre, en Afrique de l'ouest, les semences de la variété améliorée du Niger *Violet de Galmi*, produites par une entreprise privée Française Technisem, constituent toujours le matériel le plus utilisé (Currah, 2002). Comme les producteurs de l'oignon du Niger maîtrisent bien la production de semences, on constate néanmoins que de

nombreuses variétés paysannes de ce pays proviennent de l'autoproduction de semences paysannes à la ferme (Moumouni, 2006).

2.3. Ressources phytogénétiques

2.3.1. Origine et domestication

L'oignon provient de la zone géographique comprenant la Turquie, l'Iran, l'Irak et le Pakistan (Hanelt, 1990). L'espèce *A. cepa* n'a pas été retrouvée à l'état spontané. Son parent le plus proche, *A. vavilovii* Popov et Vved., peut encore être observé à l'état spontané dans la région sise entre l'Iran, le Turkménistan et la Mongolie (Hanelt, 1990 ; Foury et Schweisguth, 1992). Les traces des peintures sur les anciennes tombes Égyptiennes témoignent que l'histoire de l'oignon remonte à au moins 3200-2800 avant Jésus-Christ. Ainsi, l'oignon était déjà une source de nourriture importante pour les habitants de l'Égypte Ancienne (Boulineau et al., 2006). Selon Rouamba et al. (2001), les variétés de l'oignon d'Afrique tropicale ont pu être introduites à partir du sud de l'Égypte ou de l'Inde, via le Soudan, vers l'Afrique centrale et occidentale sous forme de graines ou de lots de bulbes génétiquement hétérogènes, et ensuite sélectionnés par les agriculteurs locaux pour fournir des oignons mieux adaptés aux conditions écologiques de ces régions et des besoins des populations.

2.3.2. Position taxonomique

La position taxonomique du genre *Allium* a fait l'objet de controverses. Dans la première classification des angiospermes, ce genre a été placé dans la famille des *Liliaceae*. Sur la base de la structure des inflorescences, *Allium* fût inclus dans les *Amaryllidaceae*. Cependant, avec l'avènement des marqueurs moléculaires, *Allium* est maintenant positionné au niveau d'une famille distincte *Alliaceae* et proche de *Amaryllidaceae*. Ainsi, le genre *Allium* appartient à la classe des *Liliopsida*, la sous classe des *Liliidae*, le super ordre des *Liliaanae*, l'ordre des *Amaryllidales*, la famille des *Alliaceae*, la sous famille des *Allioideae*, et la tribu des *Allieae* (Fritsch et Friesen, 2002).

Le genre *Allium* contient environ 780 espèces dont la majorité est présente dans l'hémisphère nord (Friesen et al., 2006). D'après Klaas et Friesen (2002), les espèces cultivées alimentaires ne représentent qu'une faible partie de la variabilité du genre. Friesen et al. (2006) classent les principales espèces cultivées du genre *Allium* dans les sous-genres *Allium* (ail, poireau) et *Cepa* (oignon, échalote, ciboule, ciboulette, ciboulette de Chine). Ce genre est divisé, soit en 5 sous-genres, en fonction des

critères morphologiques et la distribution géographique (Hanelt, 1990), soit en 15 sous-genres, en se basant sur les marqueurs moléculaires (Friesen et al., 2006).

La section *Cepa* a été classée par Hanelt (1990) dans le sous-genre *Rhizirideum* (Koch). Toutefois, dans la dernière classification du genre *Allium*, Friesen et al. (2006) classent la section *Cepa* dans le nouveau sous-genre *Cepa* (Mill.) Radic'.

Gurushidze et al. (2007) mentionnent que la section *Cepa* (Mill.) Prokh., est constituée de douze espèces réparties en trois groupes d'espèces affines. Le premier groupe est composé des espèces *A. cepa* L., *A. asarense* R.M. Fritsch et Matin, *A. farctum* Wendelbo, *A. roylei* Stearn et *A. vavilovii* M.Pop et Voed. ; le second groupe est formé des espèces *A. altaicum* Pall. et *A. fistulosum* L.; le troisième groupe est constitué des espèces *A. galanthum* Kar et Kir, *A. oschaninii* O. Fedtsch., *A. praemixtum* Vved et *A. pskemense* B. Fedtsch.

2.3.3. Classification botanique et horticole

En considérant les modes de propagation et de culture, Helem (1956) a classé *A cepa* en quatre variétés botaniques : var. *cepa* (oignon), var. *viviparum* (oignon rocambole), var. *aggregatum* (échalotes) et var. *cepiforme* (petit oignon rouge de Chine ; ciboule).

Plus tard, Jones et Mann (1963) ont subdivisé l'espèce *A cepa* en trois groupes horticoles : le groupe *common onion*, se caractérisant par des plantes produites par graines, donnant des inflorescences sans bulbilles et de gros bulbes normalement solitaires ; le groupe *aggregatum* constitué d'échalotes à reproduction préférentiellement végétative et caractérisées par un bulbe souterrain semblable à celui de l'oignon, mais plus petit et divisé comme celui de l'ail ; et le groupe *proliferum* caractérisé par des bulbes souterrains plus petits et des inflorescences portant des bulbilles qui assurent la multiplication.

2.3.4. Croisements interspécifiques

Shigyo et Kik (2008) mentionnent que les croisements naturels entre *A. cepa* et d'autres espèces du genre *Allium* sont rares et toujours stériles. En adoptant le concept de Harlan et de Wet (1971), le complexe d'espèces du genre *Allium* peut être structuré en trois pools géniques. Le pool primaire rassemble les quatre variétés botaniques de l'espèce *A. cepa*, intercompatibles (Helem, 1956). Le pool secondaire se compose des espèces qui peuvent s'hybrider avec l'oignon, mais le transfert de gènes par hybridation nécessite des techniques particulières pour surmonter des barrières d'incompatibilité.

Dans le pool secondaire les espèces *A. altaicum*, *A. fistulosum*, *A. galanthum*, *A. roylei* et *A. vavilovii*, sont les plus exploitées, notamment pour améliorer la résistance de l'oignon aux maladies (Heusden van et al., 2003). Boulineau et al., (2006) indiquent que l'espèce *A. roylei* est employée comme « espèce pont » pour introduire chez *A. cepa* des gènes de résistances au mildiou (*Peronospora destructor* (Berkeley) Caspary) et à la pourriture du collet (*Botrytis allii* Munn) appartenant à l'espèce *A. fistulosum*. Le pool génétique tertiaire est constitué de toute espèce dont le transfert de gènes avec l'oignon se heurte à de très fortes barrières d'incompatibilité, nécessitant des techniques plus sophistiquées, comme l'hybridation somatique. Les espèces *A. pskemense*, *A. oschaninii* et une vingtaine d'espèces du sous-genre *Cepa* forment le pool tertiaire, et peuvent être potentiellement exploitées pour l'amélioration de la résistance de l'oignon au mildiou, à la pourriture blanche (*Sclerotium cepivorum* Berk.) et à la pourriture du collet (Shigyo et Kik, 2008).

2.3.5. Collecte et conservation des ressources génétiques

En Afrique, les ressources génétiques de l'oignon comprennent à la fois des variétés paysannes ou variétés populations et des variétés améliorées : les variétés paysannes ont été sélectionnées par les communautés rurales, tandis que les variétés améliorées ont fait l'objet de programmes de sélection génétique dans des centres de recherche (Grandval, 2011). Leland (1987) distingue aussi, au sein des variétés paysannes, des écotypes pour désigner des formes adaptées à une écologie bien spécifique, caractérisée par des facteurs biotiques et abiotiques particuliers.

L'utilisation massive des variétés améliorées chez l'oignon en Afrique fait craindre une baisse drastique de la diversité génétique, ce qui nécessite des mesures rapides de protection des ressources phytogénétiques de cette espèce (Rouamba et al., 2001). Sous l'égide de deux organisations : FAO à travers l'organisation RADHORT (*Réseau Africain du Développement de l'Horticulture*) et IPGRI, actuel Bioversity International, des réseaux ont été créés pour coordonner la collecte, la conservation et l'utilisation des espèces sauvages, des variétés améliorées et des variétés paysannes et des écotypes de l'oignon en Afrique (Currah, 2002). Dans cette partie du monde, il existe une très grande diversité de l'oignon, classée selon la couleur, la forme et la taille des bulbes, leur mode de culture, le goût, l'aptitude des bulbes à la conservation et la longueur du jour minimale nécessaire à la formation du

bulbe. Le tableau 1 adapté à partir des données de Currah (2002), sur la base des rapports nationaux, donne les principales variétés paysannes et améliorées de l'oignon.

En Afrique tropicale, une attention particulière a été accordée, d'une part, à la sélection de variétés adaptées aux conditions photopériodiques locales, et, d'autre part, à l'introduction de variétés de jours courts originaires des USA, des Caraïbes et de l'Inde, et de variétés de jours moyens originaires d'Europe. Nabos (1976) signale que les variétés de jours longs ne font pratiquement pas de bulbes en Afrique tropicale. Parmi les variétés sélectionnées en Afrique tropicale, De Lannoy (2001) et Currah (2002) citent, comme variétés de jours moyens, *Jaunes Hâtif de Valence* et *Jaune Géant d'Espagne* ; et comme variétés de jours courts, *Early Texas Grano 502 PRR*, *Yellow Gramex*, *Red Creole*, *Violet de Galmi*, *Blanc de Galmi*, *Blanc de Soumarana*, et *Yaakaar*.

Au Niger, la sélection massale à partir des écotypes locaux *Violet de Galmi*, *Blanc de Galmi* et *Blanc de Soumarana* a permis de créer trois variétés améliorées qui portent respectivement les noms de IRAT 1, IRAT 2 et IRAT 3. La variété IRAT 1 qui porte son nom d'origine *Violet de Galmi*, est destinée à la consommation en frais, tandis que les deux autres variétés IRAT 2 ou *Blanc de Galmi* et IRAT 3 ou *Blanc de Soumarana* sont destinées à la déshydratation (Nabos, 1976). Une autre variété améliorée *Rouge de Tarna* a été créée à partir de la sélection d'un écotype local du Niger *Violet de Soumarana* (Rouamba et al., 2001).

La cartographie des variétés paysannes et des variétés améliorées de l'oignon, réalisée par Rouamba et al. (1997) en Afrique de l'ouest, a permis d'inventorier 83 et 54 variétés, respectivement de l'oignon et des échalotes, dans différentes zones de production de 13 pays. En Afrique de l'ouest, les variétés les mieux adaptées aux conditions écologiques de la région sont des variétés améliorées de jours courts et de couleur violette et blanche, *Violet de Galmi*, *Blanc de Galmi* et *Blanc de Soumarana* originaires du Niger. Pour certains pays, on note cependant l'importance locale de variétés améliorées, comme *Violet de Garango* au Burkina-Faso, *Bawku Red* au Ghana, *Rouge de Tarna* au Niger, *Kano Red* au Nigeria et *Noflaye* au Senegal.

Boukary et al. (2012), dans une étude sur l'interaction entre la variabilité des écotypes d'oignon et les facteurs agro-climatiques au Niger, ont identifié 21 écotypes. L'étude sur la taxonomie locale et l'identification des variétés paysannes de l'oignon par les producteurs du Niger a permis de montrer

que 17 écotypes sont cultivés au Niger (Abdou et al., 2014a). D'après Boukary et al. (2012), certains synonymes, par exemple, les noms *Violet de Galmi*, *Violet de Galmi Diffa*, *Violet de Galmi Gaya*, *Violet de Galmi Ayérou*, *Tassa*, *Kankaré* et *Tawarka* désignaient des écotypes différents, mais les résultats des entretiens conduits par Abdou et al. (2014a), montrent que des dénominations d'écotypes varient en fonction de la langue du producteur ; un même écototype peut avoir des noms vernaculaires différents d'un site à un autre.

Pour comprendre la dynamique temporelle de la disparition ou l'apparition des écotypes d'oignon du Niger, nous avons vérifié si tous les écotypes identifiés à travers les recherches documentaires (Nabos, 1976 ; Rouamba et al., 1997 ; Rouamba et al., 2001 ; Silué et al., 2003 ; INRAN, 2004 ; Moumouni, 2006) se retrouvent dans la liste des écotypes identifiés par Abdou et al. (2014a).

La perte des écotypes *Violet de Tahoua*, *Violet de Madaoua*, et des variétés améliorées *Blanc de Galmi* et *Blanc de Soumarana* est en partie justifiée par l'introduction de la variété améliorée *Violet de Galmi*. En outre, la prospection des nouveaux sites de production dans les Régions de Dosso et de Zinder a permis d'identifier de nouveaux écotypes : *Blanc de Soukoutantan*, *El Guidimouni*, *El Tassaou*, *El Gamdou*.

La caractérisation morphologique et l'évaluation agronomique des écotypes d'oignon identifiés par les producteurs, à l'aide des descripteurs scientifiques de "International Plant Genetic Resources Institute" actuelle *Bioversity International* (IPGRI, 2001), a mis en évidence une diversité considérable entre et à l'intérieur des écotypes du Niger (Abdou et al., 2014b).

Concernant les échalotes, Currah (2002) indique que les variétés les plus cultivées en Guinée, en Côte d'Ivoire, au Mali, au Ghana, au Bénin et au Nigeria se caractérisent par des bulbes jaunes ou rouge-violet.

En Afrique de l'est et australe, les oignons sont représentés par des variétés originaires de l'Europe et des USA : ce sont en général des variétés de jours moyens, bien adaptées aux conditions tropicales et subtropicales. Le Botswana, le Zimbabwe, la Zambie montrent une dominance des variétés à bulbes jaunes *Yellow Gramex* et *Yellow Creole*. Au Kenya, en Tanzanie et en Ouganda les variétés les plus cultivées sont des variétés importées, comme *Red creole* ou Rouge de créole, *Bonbaye Red* ou Rouge de Bombay, *Texas Early Grano* et les variétés hybrides *Tropicana F1* et *Dessex F1*. Dans les régions

montagneuses d'Afrique orientale, les échalotes remplacent les oignons à cause du climat trop humide.

Le cycle végétatif des échalotes est suffisamment bref pour permettre deux récoltes par an.

En Afrique du Nord, les variétés d'oignon les plus communément observées : *Rouge d'Am posta* (Maroc et Algérie), *Giza 6* et *Giza 20* (Egypte), et *Ultra Red* (Tunisie), sont de jours moyens et caractérisées par des bulbes de couleur rouge (Currah, 2002).

2.4. Marqueurs utilisés pour l'analyse de la diversité génétique

Le tableau 1 montre qu'il existe une très grande diversité de variétés de l'oignon en Afrique. Cependant des variétés distinctes peuvent être inventoriées sous le même nom dans différents pays, comme une même variété peut avoir des noms différents suivant la région ou le pays. L'utilisation de marqueurs morphologiques, biochimiques et moléculaires contribue à mieux cerner l'organisation de cette diversité génétique et analyser la diversité entre et à l'intérieur des variétés de l'oignon.

Tableau 1: Principales variétés cultivées en Afrique

Zone	Pays	Variété améliorée	Variété paysanne	Photopériode
Afrique de l'ouest	<i>Bénin</i>	Jaune d'Espagne	Ayo Massu	SD
		Rouge d'Espagne	De Malanville	SD
		Blanc d'Espagne		SD
		Violet de Garango*		SD
		Violet de Soumarana*		SD
	<i>Burkina-Faso</i>	Texas Yellow Grano	Violet de Garango	SD
		Jaune Hâtif de Valence		SD
		Violet de Garango*		SD
		Violet de Galmi*		SD
		Blanc de Tarna*		SD
		Violet de Soumarana*		SD

Tableau 1: Principales variétés cultivées en Afrique (suite)

Afrique de l'ouest	Cap-Vert	Violet de Galmi*		SD
		Yaakaar*		SD
		Jaune Géant d'Espagne		SD
		Jaune Hâtif de Valence		SD
		Early Yellow Grano		SD
		Texas Yellow Grano		SD
		Excel, Tropical		SD
		Red Créole, Caraïbe		SD
	Côte d'Ivoire	Texas Yellow Grano		SD
		Blanc de Galmi*		SD
		Violet de Galmi*		SD
		Yakouri*		SD
	Ghana	Texas Grano	Bawku Red	SD
		Red Créole		SD
		Bawku Red*		SD
	Guinée	Texas Early Grano		SD
		Yellow Bermuda		SD
		Blanc de Galmi*		SD
		Violet de Galmi*		SD
	Guinée-	Violet de Galmi*		SD
	Bissau	Texas Yellow Grano		SD
		Red Créole, Caraïbe		SD
	Mali	Texas Early Grano		SD
		Jaune de Valence		SD
		Violet de Galmi*		SD

Tableau 1: Principales variétés cultivées en Afrique (suite)

Afrique de l'ouest	Mali	Blanc de Galmi*		SD
		Blanc de Soumarana*		SD
		Violet de Soumarana*		SD
	Mauritanie	Texas Early Grano		SD
		Jaune Hâtif de Valence		SD
		Blanc de Soumarana*		SD
		Violet de Galmi*		SD
	Niger	Violet de Galmi*	Blanc de Galmi	SD
		Blanc de Galmi*	Blanc de Tarna	SD
		Blanc de Soumarana*	Blanc de Soumarana	SD
		Rouge de Tarna*	Violet de Madaoua	SD
			Violet de Tillabery	SD
		Violet de Say	SD	
			Violet de Soumarana	SD
		Rouge de Gaya	SD	
	Nigeria	Kano red*	Kano red	SD
		Kada goudarmi*	Chagari	SD
		Good goudami*	Goudami	SD
	Sénégal	Violet de Galmi*	Noflaye	SD
		Yaakaar*		SD
		Noflaye*		SD
		Jaune Hâtif de Valence		SD
		Jaune Géant d'Espagne		SD
		Early Yellow Grano		SD
	Sierra Leone	Texas Grano		SD
		Red Creole		SD
	Togo	Texas Grano	Local Yellow	SD
		Red Creole		SD

Tableau 1: Principales variétés cultivées en Afrique (suite)

Afrique central	<i>Cameroun</i>	Violet de Maroua*	Goudarmi	SD
		Violet de Garoua*		SD
		Violet de Galmi*		SD
		Violet de Garango*		SD
	<i>Tchad</i>	Violet de Galmi*	d'Abéché	SD
			Violacé de Chari	SD
			d'Amsilep	SD
			Dabra	SD
			de Binder	SD
			Ngama	SD
			Violet de Say	SD
			Violet de Tillabery	SD
Afrique du Nord	<i>Algérie</i>	Rouge d'Am posta		ID
	<i>Egypte</i>	Giza 6*	Beheri	ID
		Giza 20*	Shandaweel	ID
	<i>Maroc</i>	Rouge d'Am posta		ID
	<i>Tunisie</i>	Early White	Aarbi	ID
		Ultra Red*		ID
Afrique de l'Est	<i>Angola</i>	Red Creole		SD
		Texas Grano		SD
	<i>Ethiopie</i>	Adama Red*	Melkam	SD
		Mermiru Brown*		SD
		Red Creole		SD
	<i>Ouganda</i>	Red Creole	Burgundy Red	SD
		Tropicana		SD
		Bombay Red		SD
		Yellow Creole		SD
		Texas Grano		SD

Tableau 1: Principales variétés cultivées en Afrique (suite)

Afrique de l'Est	<i>Soudan</i>	Nasi Red*	Wad Ramli	SD
		Saggai Red*	Shundi Yellow	SD
		Dongola Yellow*	Hilalia	SD
		Dongola White*	Kunnur	SD
	<i>Tanzanie</i>	Red Creole	Kakhi	SD
		Bombay Red		SD
		Texas Grano		SD
	<i>Botswana</i>	Granex		ID-SD
		Pyramid		ID-SD
		Texas Grano		ID-SD
		Bon Accord		ID-SD
		<i>Zambie</i>	Henry's Special	ID-SD
			Extra Early Premium	ID-SD
			Texas Early Grano	ID-SD
			Yellow Gramex	ID-SD
		<i>Zimbabwe</i>	Extra Early Premium	ID-SD
			Pyramid	ID-SD
			Texas Grano	ID-SD
			Gold Rush	ID-SD
			Cape Flat	ID-SD
			Dessex	ID-SD
			Hojem	ID-SD

Tableau adapté de Currah (2002).

* Variétés paysannes améliorées,

SD : variétés de jours courts, ID : variétés de jours moyens, ID-SD : Variétés indifférentes à la longueur du jour.

2.4.1. Marqueurs morphologiques

Rouamba et *al.* (1997) signale que la couleur et la forme des bulbes d'oignon sont les principaux descripteurs morphologiques qui permettent de différencier les variétés d'Afrique. Vingt-huit marqueurs morphologiques ont été identifiés à partir de caractères des bulbes, des feuilles, des tiges, des fleurs et des graines de l'oignon. Si ces marqueurs sont facilement observés à l'œil, ils ont l'inconvénient d'être dominants, d'être influencés par l'environnement et de dépendre souvent du stade de développement de la plante (Cramer et Havey, 1999). Le **tableau 2** résume les principaux marqueurs qualitatifs de l'oignon et leurs déterminismes génétiques.

Tableau 2 : Les marqueurs morphologiques de l'oignon

Organes	Locus	Déterminisme génétique	Dominance
<i>Bulbes</i>			
	<i>I</i>	Inhibe la couleur des bulbes	Incomplètement dominant sur <i>i</i>
	<i>C</i>	Facteur de base de la couleur des bulbes	Dominance complète sur <i>c</i>
	<i>R et L</i>	Contrôlent de façon complémentaire la production d'un pigment rouge	Dominant
	<i>G</i>	Contrôle la couleur jaune des bulbes; l'homozygote <i>gg</i> donne la couleur chartreuse	Dominant
	<i>P</i>	Contrôle la couleur violette	Dominant
<i>Feuilles</i>			
	<i>a</i>	Feuillage de couleur albinos : locus contrôlant le déficit de la chlorophylle des feuilles	récessif
	<i>y</i>	Feuillage de couleur jaune	récessif
	<i>pg</i>	Feuillage de couleur verte pâle	récessif
	<i>gy</i>	Responsable de la brillance du feuillage	récessif
<i>Graines</i>			
	<i>b</i>	Couleur brune du tégument des graines	récessif
<i>Fleurs</i>			
	<i>ea</i>	Anthères exposées : anthères ne se développant pas normalement autour des pistils	récessif
	<i>ya</i>	Contrôle la couleur des anthères jaunes	récessif

2.4.1.1. Descripteurs des bulbes

Les bulbes des variétés de l'oignon diffèrent considérablement par leur forme sphérique, aplatie, conique, allongée ; leur couleur; leur goût et leur aptitude à la conservation (Shigyo et Kik, 2008).

Blanche, jaune, brune, rouge ou violette, la couleur des bulbes a été utilisée comme un critère majeur pour analyser la diversité génétique, ainsi que pour classer, sélectionner et créer de nouvelles variétés de l'oignon (Kim et *al.*, 2009). Les oignons d'Afrique de l'ouest sont de couleur violette, blanche et parfois jaune, alors que les autres pays d'Afrique montrent une dominance des variétés à bulbes rouge ou jaunes (Currah, 2002).

La couleur est principalement régie par une série de gènes à hérédité mendélienne mono et oligogénique (Reiman, 1931). La couleur blanche du bulbe peut être attribuée soit à un gène inhibiteur (*II*) de couleur incomplètement dominant, qui supprime toute coloration, soit à un gène récessif (*rr*) conduisant aux mutants incolores apparus dans les variétés de couleur rouge, jaune ou brun (Davis et EI-Shafie, 1967). Ces mutants ont servi de point de départ à la création de nouvelles variétés de l'oignon à bulbe blanc au Niger (Nabas, 1976). Kim et *al.* (2004) indiquent l'existence d'un autre allèle (*P*) indépendant qui contrôle la couleur violette des bulbes. Selon Fossen et *al.* (1996), la présence des composés flavonoïdes de la famille des anthocyanes produit au niveau du bulbe des couleurs variant du rouge au violet.

2.4.1.2. Descripteurs des feuilles

Les pigments chlorophylliens des feuilles de l'oignon sont variables, et permettent d'identifier les types d'oignon. La couleur des feuilles des plantules de l'oignon peut être blanche, jaune, verte pâle ou verte. Jones et *al.* (1944) ont étudié le déterminisme génétique du déficit de la chlorophylle des feuilles de l'oignon. Les plantules albinos (*a*), jaune (*y*), verte pâle (*pg*) ont tous des génotypes homozygotes récessifs, et meurent immédiatement après la germination. Selon les mêmes auteurs, la brillance du feuillage, résultant de la présence de cire sur la surface des feuilles, est conditionnée par des allèles récessifs au locus (*gy*).

2.4.1.3. Descripteurs des fleurs

Plusieurs loci régissent la stérilité mâle et la morphologie florale de l'oignon. Chez certaines plantes, les périanthes ne se développent pas normalement autour des anthères. Davis (1966) mentionne que ces traits font référence aux anthères exposées ou « *exposed anthers* » (*ea*) et sont conditionnées par les génotypes récessifs à ce locus (*ea*). Selon Jones et *al.* (1944), la couleur des anthères est contrôlée par le locus *ya* (*yellow anthers*) : *ya ya* correspond aux plantes à anthères jaunes et *Ya Ya* ou *Ya ya* correspondent aux plantes à anthères vertes. En outre, le périanthe blanc a été signalé comme étant récessive et contrôlée par un seul locus (Davis, 1966).

2.4.1.4. Descripteurs des graines

Les différentes variétés de l'oignon ont des graines à tégument noir ou brun. Selon Davis (1966), la couleur du tégument des graines est déterminée par le locus *b* avec *B_* donnant un tégument noir et le génotype *bb* donnant un tégument brun.

2.4.2. Marqueurs biochimiques

Selon Cramer et Havey (1999), 24 enzymes différentes ont été caractérisées dans les graines et les racines pour analyser la diversité entre l'espèce *A. cepa* et les autres espèces du genre *Allium*. L'analyse de la diversité génétique dans une collection de 188 variétés améliorées de l'oignon originaires des USA à l'aide des enzymes alcool déshydrogénase (ADH), isocitrate déshydrogénase (IDH), phosphoglucumutase (PGM), phosphoglucoisomerase (PGI) a permis de montrer que seule l'enzyme alcool déshydrogénase est polymorphe entre les variétés de l'oignon (Peffley et Orozco-Castillo, 1987). Cependant, Rouamba et *al.* (2001) signalent que les enzymes alcool déshydrogénase (ADH), 6-phosphoglucuronate déshydrogénase (6-PGDH), estérase (EST), phosphoglucumutase (PGM), phosphoglucoisomerase (PGI) et malate déshydrogénase (MDH) sont polymorphes au sein de 16 écotypes d'oignon originaires de six pays d'Afrique de l'ouest.

D'une manière générale, l'ensemble des systèmes enzymatiques chez l'oignon peut être reparté en deux groupes. Un premier groupe constitué des enzymes ADH, MDH, 6-PGDH, PGM, EST et PGI, dont la structure et l'hérédité sont connues. Toutefois, la structure et l'hérédité des systèmes PGI et MDH sont controversées. Selon Peffley et Orozco (1987), la PGI et la MDH seraient codées chacune par 2 loci. Par contre, Rouamba et Ricroch (2006) montrent que l'enzyme PGI est codée par un locus avec trois allèles, la MDH serait codée par 3 loci dont deux seraient monomorphes et un polymorphe.

Le deuxième groupe est constitué de toutes les autres enzymes dont la structure et l'hérédité ne sont pas encore connues.

L'évaluation de la diversité génétique des écotypes d'oignon provenant de l'Afrique de l'ouest, à l'aide de quatre enzymes (ADH, 6-PGDH, PGI et MDH), a permis à Rouamba et *al.* (1997) de séparer des variétés provenant des pays francophones : Benin, Burkina-Faso, Côte d'Ivoire, Mali, Niger des variétés du Nigéria, anglophone. Ces auteurs suggèrent l'absence de flux de gènes entre ces 5 pays francophones et le Nigéria. En général, l'analyse de la diversité génétique de l'oignon d'Afrique à l'aide de marqueurs enzymatiques montre une homogénéité biochimique entre plusieurs variétés ou entre individus d'une même variété, qui ne se reflète pourtant pas au niveau phénotypique, en particulier pour la forme et la couleur des bulbes (Rouamba et *al.*, 2001).

Par ailleurs, le polymorphisme des enzymes estérase, alcool déshydrogénase, isocitrate déshydrogénase, phosphoglucosomerase a été utilisé pour distinguer le profil génétique de l'oignon, de la ciboule et les hybrides des deux espèces (Cryder et *al.*, 1991 ; Peffley et Hou, 2000).

2.4.3. Marqueurs moléculaires

À notre connaissance, aucune étude n'a été faite pour analyser la diversité génétique des variétés de l'oignon d'Afrique à l'aide des marqueurs moléculaires. Pourtant les marqueurs *Random Amplified Polymorphic DNA* (RAPD), *Restriction Fragment Length Polymorphism* (RFLP), *Amplified Fragment Length Polymorphism* (AFLP), *Target Region Amplification Polymorphism* (TRAP) et *Simple Sequence Repeats* (SSRs) ont été utilisés avec succès pour refléter des variations organoleptique et morphologique entre différentes variétés de l'oignon, ainsi qu'entre l'oignon et d'autres espèces du genre *Allium* (Klaas et Friesen, 2002).

Wilkie et *al.* (1993) ont utilisé la technique moléculaire RAPD avec 20 amorces aléatoires pour analyser des variations entre six variétés de l'oignon dont cinq de jours longs et une de jours courts, une seule variété des 4 espèces : échalote, ciboule, ciboulette, poireau, et une espèce spontanée *A. roylei*. De grandes variations dans les profils de bandes entre les espèces ont été observées avec toutes les amorces testées. Parmi les 20 amorces, sept ont révélé des polymorphismes entre les variétés de l'oignon, mais ces marqueurs RAPD ne permettent cependant pas de discriminer les variétés de l'oignon en fonction de la sensibilité à la photopériode. Cette même étude montre que l'espèce

spontanée *A. roylei* est plus proche de l'oignon que les espèces cultivées du genre *Allium* telles la ciboule, le poireau et la ciboulette.

La technique *Restriction Fragment Length Polymorphism* (RFLP) a permis d'observer une différenciation génétique entre, d'une part, les variétés améliorées de l'oignon de jours longs originaires de l'Europe (Espagne et Hollande) et, d'autre part, celles de jours courts originaires des Etats Unis d'Amérique (King et *al.*, 1998).

Les marqueurs dominants AFLP (*Amplified Fragment Length Polymorphism*) ont été peu utilisés pour l'analyse de la diversité génétique de l'oignon à cause de la taille du génome nucléaire, du nombre élevé des hétérozygotes et du faible taux de la diversité allélique (Heusden van et *al.*, 2003). D'après King et *al.* (1998), les marqueurs AFLP ont révélé une absence de polymorphisme chez les variétés hybrides et les variétés populations de l'oignon originaire d'Europe, du Nord des Etats Unis d'Amérique et du Japon. Par contre, cette technique été utilisée par Heusden van et *al.* (2003) pour différencier avec succès les espèces *A. cepa*, *A. roylei* et l'hybride *A. cepa* X *A. roylei*.

Dans le genre *Allium*, Fischer et Bachmann (2000) ont été les premiers à développer 30 marqueurs microsatellites génomiques (SSRg) qui ont permis d'analyser, d'une part, la diversité entre 83 variétés de l'oignon venant d'une vingtaine de pays d'Europe, d'Amérique et d'Asie, et, d'autre part, la diversité entre ces variétés d'oignon et douze autres espèces du sous-genre *Rhizirideum*. Parmi les variétés de l'oignon, seulement quatre marqueurs sont polymorphes, ce qui ne permet pas la discrimination inter-variétale. Cependant, ces résultats montrent une différenciation génétique entre les espèces étudiées ; les espèces spontanées *A. roylei* et *A. vavilovii* sont les plus proches de l'oignon.

Kuhl et *al.* (2004), Martin et *al.* (2005), McCallum et *al.* (2008), Kharl et *al.* (2010) et ; Baldwin et *al.* (2012) ont identifié des marqueurs SSRg et SSRest (*Expressed Sequence Tag*) : ceux-ci ont conduit non seulement à la discrimination entre les variétés de l'oignon, mais aussi à mieux caractériser la diversité génétique intra et inter-variétale. En effet, l'utilisation 20 marqueurs SSRg a permis à Baldwin et *al.* (2012) de regrouper, notamment, en fonction de la sensibilité à la photopériode 24 variétés de l'oignon originaires d'Amérique du Sud, d'Espagne, du Portugal, d'Inde et de la nouvelle Zélande.

2.5. Conclusion et recommandations

L'oignon est une plante herbacée bisannuelle de la famille des *Alliaceae*, cultivé pour l'alimentation humaine depuis des milliers d'années dans les régions tempérées et subtropicales. Malgré l'identification d'un grand nombre de variétés et l'évolution des techniques d'analyse de la diversité génétique, très peu d'études ont été menées sur la diversité intra et inter-variétale de l'oignon en Afrique. Tenant compte des données des rapports nationaux d'inventaires des variétés paysannes et améliorées de l'oignon, il nous semble que le nombre de variétés de l'oignon répertorié en Afrique ne correspond pas à la réalité. Les variétés originaires d'un même pays sont cultivées dans différents pays. Par exemple les variétés améliorées du Niger sont rencontrées dans tous les pays de l'Afrique de l'Ouest. Il ressort aussi de cette étude bibliographique que les variétés paysannes de l'oignon d'Afrique sont menacées de disparition face à l'introduction massive des variétés améliorées importées des Etats-Unis, de l'Europe, du Japon. Pour conserver ces variétés paysannes, il faut les identifier, les caractériser et les évaluer.

Il est essentiel d'analyser les flux de gènes au niveau intra et inter-variétal et de mesurer l'impact de ces flux dans des programmes de conservation *in situ* et *ex situ*, ce qui permettrait de concevoir les meilleures stratégies de conservation génétique de l'espèce en Afrique. La richesse des variétés de cette espèce doit être étudiée avec l'appui de divers outils d'identification : ethnologique, morphologique, agronomique biochimique et moléculaire. Ces résultats pourraient contribuer à mieux comprendre, non seulement, le rôle des producteurs dans la gestion de la diversité génétique, mais aussi l'organisation de cette diversité dans une perspective d'amélioration des types locaux.

2.6. Références bibliographiques

- Abdou R., Malice M., Bakasso Y., Saadou M., Baudoin J.P.,** 2014a. Taxonomie locale et analyse des critères des paysans pour caractériser les différents écotypes d'oignon (*Allium cepa* L.) du Niger. *Cah. Agric.* 23 : 166-176. doi : 10.1684/agr.2014.0700.
- Abdou R., Malice M., Bakasso Y., Saadou M., Baudoin J.P.,** 2014b. Variabilité morphologique et agronomique des écotypes d'oignon (*Allium cepa* L.) identifiés par les producteurs du Niger. *Tropicultura (In press)*.
- Baldwin S., Pither-Joyce M., Wright K., Wright K., Chen L., McCallum J.,** 2012. Development of robust genomic simple sequence repeat markers for estimation of genetic diversity within and among bulb onion (*Allium cepa* L.) populations. *Mol. Breeding*, 30, 1401-1411.
- Berninger E.,** 1965. Contribution à l'étude de la stérilité mâle de l'oignon (*Allium cepa* L.). *Ann. Amélior. Plant.*, 15, 183-199.
- Boukary H., Roumba A., Adam T., Barage M. & Saadou M.,** 2012. Interactions entre la variabilité des écotypes de l'oignon (*Allium cepa* L.) et les facteurs agro-climatiques au Niger. *TROPICULTURA*, 30 (4), 209-215.
- Boulineau F. Brand R., Chauvet M., Chesnel A., Foury C., Kahane R., Messiaen C.M., Schweisguth B., Seisson G.,** 2006. L'oignon. In : Doré C. et Varoquaux F. eds., *Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées*. INRA, Paris, 481-493.
- Craig W. J.,** 1999. Health-promoting properties of common herbs. *Am. J. Clin. Nutr.*, 70(3), 491-499.
- Cramer C. S. & Havey M. J.,** 1999. Morphological, biochemical, and molecular markers in onion, *Hortic. Sci.*, 34, 589-593.
- Cryder C.M., Corgan J.N., Urquhart N.S. & Clason D.,** 1991. Isozyme analysis of progeny derived from (*Allium fistulosum* × *Allium cepa*) × *Allium cepa*. *Theor. Appl. Genet.*, 82, 337-345.
- Currah L.,** 2002. Onions in the Tropics: Cultivars and Country Reports. In : Rabinowitch H.D. and Currah L., eds. *Allium Crop Science : Recent advances*, Wallingford, Oxon, UK: CABI Publishing, New York, USA, 379-408.

- Davis G.N. & El-Shafie M.W.**, 1967. Inheritance of bulb color in the onion (*Allium cepa* L.). *Hilgardia* 38, 607-622.
- Davis E.W.**, 1966. Marker genes to facilitate roguing onion-seed fields. *Seed World* 87, 4-6.
- De Lannoy G**, 2001. Oignon *Allium cepa* L. In : Raemaekers R. H., eds. *Agriculture en Afrique Tropicale*, DGCI, Bruxelles, Belgique, 518-526.
- FAOSTAT, 2013**. Base de données statistiques agricoles FAO, <http://faostat.fao.org/> (10/05/2013).
- Fischer D. & Bachmann K.**, 2000. Onion microsatellites for germplasm analysis and their use in assessing intra- and interspecific relatedness within the subgenus *Rhizirideum*. *Theor. Appl. Genet.* 101, 153-164.
- Fossen T., Andersen O.M., Ovstedal D.O., Pedersen A.T. & Raknes A.**, 1996. Characteristic anthocyanin pattern from onions and other *Allium* spp. *J. Food Sci.* 61, 703-706.
- Foury C. & Schweisguth B.**, 1992. L'oignon. In : Gallais A. & Bannerot H., eds., *Amélioration des espèces végétales cultivées*, INRA, Paris, 406-419.
- Friesen N., Fritsch R.M. & Blattner F.R.**, 2006. Phylogeny and new intrageneric classification of *Allium* L. (Alliaceae) based on nuclear ribosomal DNA ITS sequences. *Aliso.*, 22: 372-395.
- Fritsch R.M. & Friesen N.**, 2002. Evolution, domestication and taxonomy. In : Rabinowitch H.D. and Currah L., eds., *Allium Crop Science : Recent advances*, Wallingford, Oxon, UK: CABI Publishing, New York, USA, 5-30.
- Grandval F.**, 2011. Quelques définitions clés pour aborder ce dossier « semences », *Grain de sel*, 52-53, 39-40.
- Gurushidze M, Mashayekhi S, Blattner FR, Friesen N, Fritsch RM.**, 2007. Phylogenetic relationships of wild and cultivated species of *Allium* section *Cepa* inferred by nuclear rDNA ITS sequence analysis. *Plant Systematics and Evolution* 269: 259-269.
- Hanelt P.**, 1990. Taxonomy evolution and history. In: Rabinowitch H.D. & Brewster J.L. eds. *Onions and Allied Crops*, CRC Press Inc, Boca Raton, Florida, USA., 1-26.
- Harlan J. R. et de Wet J.M.J.**, 1971. The origin and domestication of *Sorghum bicolor*. *Econ. Bot.*, 25, 128-135

- Heusden Van A.W., Van Raamsdonk L.W.D., Ensink W., Vrielink-van Ginkel M., and Kik C.** 2003. Biodiversity assessment based on cpDNA and crossability analysis in selected species of *Allium* subgenus *Rhizirideum*, *Theor. Appl. Genet.*, 107: 1048-1058.
- INRAN**, 2004. *Rapport d'activité*, Collecte et épuration des cultivars locaux d'oignon, Rapport d'activité de la campagne 2002 -2003, PPEAP & INRAN, 12 p.
- IPGRI, ECP/GR, AVRDC**, 2001. *Descriptors for Allium (Allium spp.)*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy; European Cooperative Programme for Crop Genetic Resources Networks (ECP/GR), Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan, 43p.
- Jones H.A., Clarke A.E. & Stevenson F.J.**, 1944. Studies in the genetics of the onion (*Allium cepa* L.). *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 44, 479-484.
- Jones H.A. & Clarke A.E.**, 1943. Inheritance of male sterility in the onion and the production of hybrid seed. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 43, 189-194.
- Jones HA & Mann L.K.**, 1963. Onions and their allies. Botany, cultivation and utilization. *Interscience*, New York, 286 pp
- Kamenetsky R. & al.**, 2005. Diversity in fertility potential and organo-sulphur compounds among garlies from Central Asia. *Biodivers. Conserv.*, 14, 281-295.
- Khar A., Lawande K. E. & Negi K. S.**, 2010. Microsatellite marker based analysis of genetic diversity in short day tropical Indian onion and cross amplification in related *Allium* spp. *Genet. Resour. Crop. Evol.*, 58, 741-754.
- Klaas M. & Friesen N.**, 2002. Molecular markers in *Allium*, *Allium* crop science. *In*: Rabinowitch H.D. and Currah L., eds. *Allium Crop Science : Recent advances*, Wallingford, Oxon, UK: CABI Publishing, New York, USA, 159-186.
- Kim S., Binzel M. L., Yoo K. S., Park s. & Pike L. M.**, 2004. Pink (P), a new locus responsible for a pink trait in onions (*Allium cepa*) resulting from natural mutations of anthocyanidin synthase. *Mol. Genet. Genomics*, 272, 18-27.
- Kim S., Baek D., Cho d. Y., Lee E. T. & Yoon M. K.**, 2009. Identification of two novel inactive DFR-A alleles responsible for failure to produce anthocyanin and development of a simple PCR-based

molecular marker for bulb color selection in onion (*Allium cepa* L.). *Theor. Appl. Genet.*, 118, 1391-1399.

King J. J., Bradeen J. M. & Havey M. J., 1998, Variability for restriction fragment-length polymorphisms (RFLPs) and relationships among elite commercial inbred and virtual hybrid onion populations, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 123, 1034-1037.

Kuhl J. C. et al., 2004. A unique set of 11,008 onion expressed sequence tags reveals expressed sequence and genomic differences between the monocot orders Asparagales and Poales. *Plant. Cell.*, 16, 114-125.

Leland R H., 1987. Manuel pour la sélection du sorgho. (2^e éd.). *Andhra Pradesh*, Inde : ICRISAT.

Martin W. J. et al., 2005. Genetic mapping of expressed sequences in onion and in silico comparisons with rice show scant colinearity. *Mol. Genet. Genomics*, 274, 197-204.

McCallum J., Thomson S., Pither-Joyce M., Kenel F., Clarke A. & Havey M. J., 2008. Genetic diversity analysis and single-nucleotide polymorphism marker development in cultivated bulb onion based on expressed sequence tag-simple sequence repeat markers, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 133, 810-818.

Moumouni A. D., 2006. Les effets de la réappropriation de la culture du Violet de Galmi par les producteurs d'oignon de la région de Tahoua – NIGER, sur la dynamique du territoire local, l'organisation sociale et économique, *Thèse UNIVERSITE DE TOULOUSE - LE MIRAIL*, 281 p.

Nabos J., 1976. L'amélioration de l'oignon (*Allium cepa* L.) au Niger. *Agronomie tropicale*, Vol XXXI, N°4, IRAT Paris, pp 387- 397.

Peffley E.B., Orozco-Castillo C., 1987. Polymorphism of isozymes within plant introductions of *A. cepa* L. and *A. fistulosum* L. *HortScience*, 22, 956-957.

Rouamba A, Sarr A & Ricroch A, 1997. Dynamic management of genetic resource of *Allium cepa* L. (Onion) in west Africa, Proceedings of the First International Symposium on Edible *Alliaceae*, Mendoza, Argentina, 14-18 March 1994. J.L., Eds Burba & C.R. Galmarini, *Acta. Hort.*, 433, 185-189.

Rouamba A., Sandmeier M., Sarr A. & Ricroch A., 2001. Allozyme variation within and among populations of onion (*Allium cepa* L.) from West Africa, *Theor. Appl. Genet.*, 103, 855-861.

- Schweisguth B.**, 1973. Etude d'un nouveau type de stérilité mâle chez l'oignon, *Allium cepa* L. *Ann. Amélior. Plant.*, 23, 221–233.
- Shigyo M. et Kik C.**, 2008. Onion. *In* : Prohens J. and Nuez F., eds. *Vegetables II fabaceae, liliaceae, solanaceae, and umbelliferae*. Springer, New York, 121-159.
- Silué S, Fondio L, Coulibaly MY & Magein H**, 2003. Sélection de variétés d'oignon (*Allium cepa* L.) adaptées au nord de la Côte d'Ivoire, *Tropicultura* 21 (3) : 129-134.
- Wilkie S.E., Isaac P.G. & Slater R.J.**, 1993 Random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers for genetic analysis in *Allium*. *Theor. Appl. Genet.*, 86:497-504.

3. Taxonomie locale et analyse des critères des paysans pour caractériser les différents écotypes d'oignon (*Allium cepa* L.) du Niger.

ABDOU Rabiou, MALICE Marie, BAKASSO Yacoubou, SAADOU Mahamane,

BAUDOIN Jean-Pierre

Article publié dans la revue Cahiers Agricultures 23 : 166-176. doi : 10.1684/agr.2014.0700

Résumé

L'oignon est une production maraîchère bien ancrée au Niger qui a développé depuis longtemps une réputation de qualité. Au Niger, de nombreuses études ont porté sur la production et la filière d'oignon. Par contre, très peu de recherches ont été consacrées à la diversité nommée des écotypes d'oignon. Ce travail a pour but d'inventorier les différents types d'oignon cultivés au Niger. Ainsi, onze sites situés dans les principales zones de production d'oignon au Niger ont été visités. Dans chaque site, des entretiens individuels ont été conduits avec 10 producteurs qui ont une bonne connaissance des différents types d'oignon de la zone en particulier et du Niger en général. La caractérisation des écotypes du Niger a été réalisée en se basant sur les descripteurs du genre *Allium* établis par Bioversity International (ex IPGRI). Cinquante-deux écotypes nommés ont été inventoriés, mais après analyse et regroupement des synonymes, il ressort que 17 écotypes sont cultivés au Niger. Les principaux critères des paysans pour caractériser un écotipe local sont la couleur des bulbes et la zone de provenance.

Mots clés : Oignon, *Allium cepa* L., écotipe, diversité nommée, Niger

Abstract:

Onion is a very important crop in Niger, which has developed a reputation of high quality for ages. In Niger many analyses have been carried out over the onion production, but very little research has been done on onion ecotypes. The aims of this work were to identify the different types of onion produced in Niger. Eleven sites have been visited in the main area of mass production of onion in Niger. Interviews have been conducted with ten producers on each site visited. These producers have a good knowledge of the different types of onions produced in the area and all over the country. Descriptors for *Allium*, established by Bioversity International (ex IPGRI), have been used to characterize the onions ecotypes. Fifty two locally named ecotypes have been identified, but after analysis and grouping by synonym, it was found that 17 of them were produced in Niger. The main criteria for a local ecotype naming are the color of the onion bulb and the production area.

Keywords: Onion, *Allium cepa* L., landrace, genetic diversity, Niger

3.1. Introduction

L'oignon, plante originaire d'Asie centrale, est largement cultivé au Niger. Entre 1999 et 2009, la production nationale d'oignon a doublé (FAO, 2009). Ainsi, avec une production totale estimée à 447 000 tonnes, le Niger est considéré comme le plus important exportateur et le deuxième producteur d'oignon de l'Afrique de l'Ouest (D'Alessandro et Soumah, 2008). Au Niger, "*le Violet de Galmi*" est la principale variété, mais plusieurs autres écotypes locaux d'oignon sont aussi présents. Cette diversité génétique d'oignon du Niger est le plus souvent désignée par des écotypes ou des variétés locales (Nabos, 1976 ; Rouamba et *al.*, 2001 ; Currah, 2002). Plusieurs définitions sont consacrées à la notion d'écotype. Pour Turesson (1922), un écotype résulte de la réponse génotypique d'une espèce à un habitat particulier. Cet habitat est légèrement différent de celui le plus fréquemment occupé par l'espèce mais il n'y a pas de barrière biologique d'isolement interne entre les divers écotypes d'une même espèce. Selon Leland (1987), un écotype est une population d'individus d'une espèce dont la morphologie particulière est déterminée par les conditions du milieu. Gregor (1944) signale que l'écotype est généralement lié à un habitat particulier et ne possède qu'un nom vernaculaire. Dans le cadre de cette étude, la notion d'écotype est employée pour désigner les types d'oignon provenant de différentes zones de production du Niger, lesquelles présentent une diversité de systèmes agricoles, de conditions climatiques et d'organisations sociales.

Par ailleurs, la modernisation des petites exploitations agricoles par le biais de l'introduction de nouvelles variétés améliorées d'oignon est perçue comme une condition indispensable de l'augmentation du rendement et du revenu agricole (Rouamba et *al.*, 1997). Mais, en Afrique de l'ouest, de nombreuses populations locales d'oignon sont menacées de disparition face à l'introduction massive des variétés importées des Etats-Unis, de l'Europe, du Japon et à la diffusion à grande échelle d'une variété locale améliorée du Niger "*Violet de Galmi*" (Rouamba et *al.*, 2001). Au Niger, cette perte de diversité est aussi observée dans certaines zones de production d'oignon. Selon Nabos (1976), l'Institut de Recherche Agricole Tropicale (IRAT) du Niger dispose dans sa collection de 21 écotypes de la région de Tahoua (**Figure 1**), principale zone de production de l'oignon au Niger ; alors que récemment, Moumouni (2006) a identifié seulement quatre écotypes de cette même zone. Cette situation fait craindre une perte d'écotypes locaux dans tout le pays. Les consommateurs les apprécient

par rapport aux variétés importées à cause de leurs qualités organoleptiques et des bulbes qui se conservent mieux (Ricroh et *al.*, 1996). Ces ressources génétiques locales sont aussi essentielles pour les objectifs de sélection et création variétale (Khar et *al.*, 2010). Il convient donc de déterminer la diversité nommée gérée par les producteurs au Niger.

Pour conserver ces écotypes locaux, il faut au préalable les identifier, les caractériser et les évaluer. La taxonomie locale est la classification utilisée par les paysans, elle peut être impérative dans le but d'exploiter et de conserver *in situ* la diversité génétique (Mekbib, 2007). La compréhension de la façon dont les agriculteurs traditionnels préservent et gèrent les ressources phytogénétiques demeure un important défi en matière de recherche. Selon Altieri et Merrick (1987), la gestion des ressources génétiques végétales ne se limitent pas à rassembler des génotypes d'espèces indigènes cultivées et de variétés sauvages apparentées, mais elle comprend aussi l'étude des interactions écologiques, du flux génique, ainsi que des connaissances et du savoir faire des populations humaines qui sélectionnent et cultivent les plantes locales.

A notre connaissance, aucune étude ethnobotanique ne traite directement de la taxonomie locale de l'oignon. Cependant, cette approche a été conduite pour appréhender la diversité génétique d'espèces telles que le taro (*Colocasia esculenta* [L.]Scott) (Jainchu Xu et *al.*, 2001), le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) (Sambatti et *al.*, 2001), le riz (*Oryza sativa* L.) (Appa Rao et *al.*, 2002) et le sorgho (*Sorghum Bicolor* L.) (Barnaud et *al.*, 2007 ; Mekbib, 2007).

Si la nécessité de promouvoir la conservation des écotypes locaux devient un enjeu, au Niger les critères utilisés par les producteurs pour identifier et nommer leurs écotypes et la structuration de la diversité nommée de l'oignon ne sont pas bien connus, alors que cette diversité pourrait offrir des opportunités dans la conception des programmes de conservation et d'amélioration. Cette étude se propose d'inventorier la diversité nommée, de lister tous les termes associés à la nomenclature de l'oignon du Niger pour identifier les synonymes et les homonymes, établir le système de classification des écotypes, analyser les différences des écotypes nommés par zone écologique et par ethnie.

3.2. Matériels et Méthodes

3.2.1. Zones d'étude

L'étude a été conduite sur l'ensemble du territoire de la République du Niger dans les principales zones des cultures irriguées. La **figure 1** montre la localisation des différentes zones des cultures irriguées du Niger et les sites enquêtés.

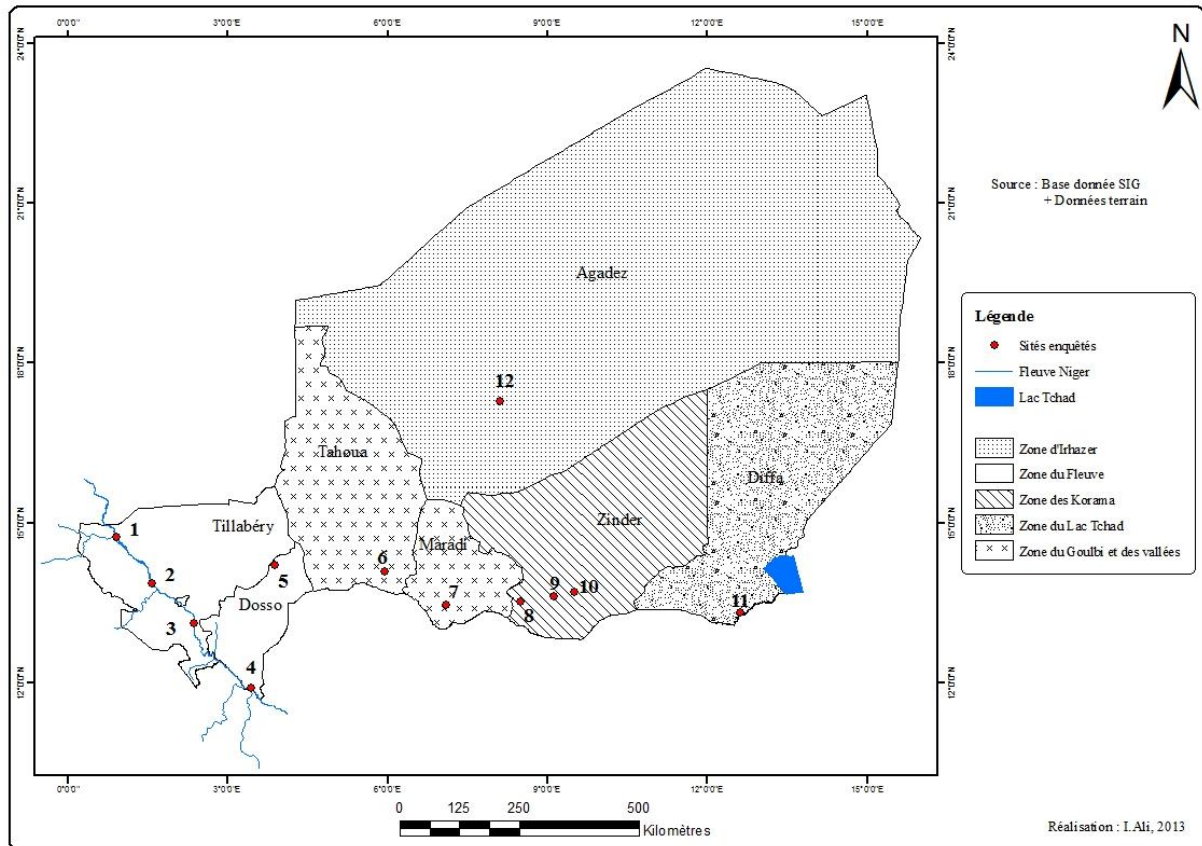


Figure 1 : Localisation des zones de cultures irriguées et des sites enquêtés

Sites enquêtés : 1 : Ayorou, 2 : Gotheye, 3 : Say, 4 : Gaya, 5 : Soukouloutan, 6 : Madaoua, 7 : Maradi, 8 : Tassau, 9 : Gamdou, 10 : Guidimouni et 11 Diffa.

Sites visité : 12 : Agadez

Au Niger, la culture de l'oignon se pratique autour des points d'eau de surface, notamment des mares temporaires ou permanentes et le long du Fleuve Niger. Selon Sagnard et *al.* (2008), la plus grande partie du pays est soumise à un climat sahélien avec une saison pluvieuse excédant rarement 75 jours et des périodes de sécheresses récurrentes. Cependant, l'extrémité sud-ouest du Niger est caractérisée par un climat soudanien et le nord est dominé par un climat désertique, extrêmement sec et aride.

Le choix des sites enquêtés se justifie principalement par la présence d'au moins un écotype identifié à partir des recherches documentaires (Nabos, 1976 ; Rouamba et *al.*, 1997 ; Rouamba et *al.*, 2001 ; Silué et *al.*, 2003 ; INRAN, 2004 ; Moumouni, 2006) et des entretiens avec des personnes possédant une bonne connaissance des ressources phytogénétiques du Niger en général et de l'oignon en particulier.

Quatre ethnies principales sont concernées par les enquêtes, réparties dans onze sites de culture d'oignon, regroupés en cinq zones de production. Il s'agit des Zarma/Songhaïs à l'ouest dans la zone du fleuve, les Haoussa dans la zone des vallées au centre (localement appelée *Korama* ou *Goulbli*), les Touareg au Nord dans la vallée d'*Irhazer*, et les Kanuri dans la zone du Lac Tchad et de la Komadougou-Yobé à l'extrême-est du pays.

3.2.2. Inventaire et taxonomie des écotypes

Des enquêtes individuelles ont été menées auprès de dix producteurs d'oignon par site pour identifier les différents écotypes d'oignon produits ou connus. Les producteurs ayant participé à cette étude ont été mis en situation de discours libres. Cette approche de libre citation ou *free listing method* a pour objectif de définir les contours des noms des plantes ou des animaux et est souvent utilisée et adaptée aux études ethnobotaniques (Thompson et Juan, 2006).

De plus, les écotypes nommés ont fait l'objet d'entretien spécifique avec les producteurs enquêtés pour s'assurer qu'un même écotype cultivé dans différentes zones ne porte pas des appellations différentes.

Pour compléter les résultats d'inventaire et de taxonomie des écotypes par site, nous avons identifié les procédés de nomination. Nous nous sommes appuyés sur des entretiens complémentaires pour demander à chaque personne enquêtée de commenter la liste des écotypes nommés et pour savoir si les noms listés font référence aux caractères morphologiques, à l'origine ou à l'usage de l'écotype.

3.2.3. Critères de caractérisation d'un écotype

Comme un même écotype est nommé différemment selon la zone ou l'ethnie de l'individu enquêté, il a été demandé aux individus enquêtés de préciser les critères qu'ils utilisent pour reconnaître l'écotype nommé. A cet effet, les critères d'identification d'un écotype d'oignon par les producteurs enquêtés ont été comparés avec les critères scientifiques du genre *Allium* établis par “*International Plant*

Genetic Resources Institute’’ actuelle ‘‘*Bioversity International*’’ (IPGRI, 2001). Ainsi les producteurs ont été questionnés pour savoir s'ils utilisent au moins l'un des 27 descripteurs de l'IPGRI, qui ont trait aux descripteurs des feuilles, des bulbes, des inflorescences, des graines, et de la réaction aux stress biotiques et abiotiques.

3.2.4. Analyse des données

Les listes libres d'identification des écotypes de l'oignon du Niger ont été accompagnées d'un protocole de caractérisation de la diversité nommée. Le **tableau 1** résume les critères morphologiques et agronomiques utilisés au champ pour caractériser les écotypes listés, afin d'identifier les synonymes et les homonymes et limiter les problèmes d'analyse liés aux doublons.

Les données collectées ont été analysées avec le logiciel XLSTAT version 2010.4 permettant les calculs de fréquences et du nombre de producteurs utilisant les descripteurs d'oignon par site enquêté. L'analyse factorielle des correspondances (AFC), réalisée avec le logiciel MINITAB® (MINITAB 15.1.30, 2007), a permis de structurer la diversité nommée. Cette analyse, réalisée à partir de la matrice des données du nombre de citations des écotypes nommés au cours des enquêtes menées auprès de dix producteurs d'oignon par site, vise à déterminer les affinités ou les divergences entre les écotypes nommés par les producteurs de divers sites de production, ainsi que les affinités entre les écotypes et les sites enquêtés. Dans notre cas, cette analyse est pertinente car la fréquence attendue des effectifs est toujours supérieure à 5 pour chacun des sites étudiés.

Tableau 1 : Caractéristiques morphologiques et agronomiques utilisables pour distinguer les écotypes

Critères de classification utilisés	Etats associés
<i>Descripteurs des feuilles</i>	
Couleur des feuilles	Vert clair, Vert, Vert foncé
Densité foliaire des plantes	Faible, Moyenne, Forte, Très forte
Nombre des feuilles par plante	Faible, Moyenne, Abondant
Longueur des feuilles	Petit, Moyen, Grand
Diamètre des feuilles	Petit, Moyen, Grand
<i>Descripteurs des bulbes</i>	
Forme des bulbes matures	Aplatie, Allongée, Sphérique, Forme sphérique divisé, Cône renversé, Conique
Couleur des bulbes matures	Blanc, Brun, Jaune, Violet clair, Violet, Violet foncé, Rose, Rouge
Uniformité de forme des bulbes matures	Uniforme, Peu variable, Variable, Très variable
Uniformité de couleur des bulbes matures	Uniforme, Peu variable, Variable, Très variable
Disposition et nombre de lobes par bulbe	Unilobé, Plusieurs lobes séparés, Plusieurs lobes non séparés
Calibre des bulbes	Petit, Moyen, Gros
Précocité de maturité des bulbes	Très précoce, Précoce, Tardive
<i>Descripteurs des inflorescences</i>	
Taux de floraison en première année	Pas de fleur, Faible, Moyen, Intense
Fertilité générale	Faible, Moyen, Intense
Nombre de fleurs par ombelle	Absent, Moyen, Abondant
Couleur des fleurs	Blanc, Jaune, Rouge, Vert, Violet
Couleur des anthères	Blanc, Jaune, Rouge, Vert, Violet
Date des premières floraisons	Très précoce, Précoce, Tardive
Date de maturité	Très précoce, Précoce, Tardive
<i>Descripteurs des graines</i>	
Couleur du tégument des graines	Noir, Brun
Poids des graines	Faible, Moyen, Important
<i>Résistance aux stress biotiques</i>	
Résistance aux Champignons	Résistant, Tolérant
Résistance aux Bactéries	Résistant, Tolérant
Résistance aux Virus	Résistant, Tolérant
Résistance aux Nématodes	Résistant, Tolérant
<i>Tolérance aux stress abiotiques</i>	
Tolérance à la sécheresse	Sensible, Tolérant
Tolérance à la pluie	Sensible, Tolérant

Tableau adapté de IPGRI (2001)

3.3. Résultats

3.3.1. Identification et taxonomie des écotypes

Les entretiens libres auprès des producteurs ont permis d'inventorier 52 noms vernaculaires d'écotypes d'oignon provenant de différentes zones de production. Parmi ces noms vernaculaires, des dénominations d'écotypes varient en fonction de la langue du producteur enquêté ; un même écotype peut avoir des noms vernaculaires différents d'un site à un autre. Dans ces cas les noms ont été conservés et traités comme synonymes. Après l'analyse des caractéristiques morphologiques, des usages des écotypes nommés, et le regroupement des noms vernaculaires en synonymes, il ressort que 17 écotypes sont actuellement cultivés au Niger. Le **tableau 2** donne la liste des écotypes nommés, le nom local de l'écotype dans sa principale zone de production, les synonymes et la traduction en français du nom local. Il ressort aussi de nos enquêtes, qu'à l'échelle des sites ou des individus, des écotypes différents peuvent porter le même nom, tel que les taxons "*Local*" ou "*Albassa*". Le premier taxon est listé en référence à l'écotype localement cultivé et le second indique l'oignon en *Haoussa*. Le **tableau 3** présente les principaux caractères morphologiques et agronomiques des écotypes nommés.

Tableau 2 : Liste des noms, synonymes et localisation des écotypes d'oignon du Niger

Ecotypes	Nom local de l'écotype	Traduction du nom local de l'écotype	Synonymes	Zones de production
Violet de Ayorou	Ayorouzo	Oignon d'Ayorou	Ayorou Albassan, Ayorouzé, Ayorouzo, Albassan	1 (ZVF)
Blanc de Gotheye	Gotta	Oignon de Gotheye	Gotta, Gotheyezé, Gotheyezo, Albassan, Blanc de Tillabéry	2 (ZVF)
Violet de Gotheye	Albassan Tawaye- tawayzé	Oignon Jumeau	Albassan Tawaye-tawayezo, Albassan Tawaye-tawayezé, Goungo, Goungizo, Albassan	2 (ZVF)
Violet de Say	Al Hadadjé	Local	Al Hadadjé, Doga, Youri, local, Albassan	3 (ZVF)
Rouge de Gaya	Yaourizo	Oignon de Yaouri	Gayazo, El Gaya, Yaourizé, Yaourizo, Bisna	4 (ZVF)
Blanc de Soukougoutan	Albassa Soukougoutan	Oignon de Soukougoutan	Fara albassa, Tassa, Zalbo, Kibba, Albassa	5 (ZVF)
Blanc de Galmi	Fara Albassa	Oignon blanc	El Galmi, Fara albassa, Tassa, Zalbo, Kankaré, Tawarka, Albassa	6 (ZVG)
Violet de Galmi	El Galmi	Oignon de Galmi	Galmi, Tassa, Zalbo, Kankaré, Tawarka, El Galmi, Galmizo, Galmo, Sonal, Albassa	6 (ZVG)
El Nigeria	Jaa Albassa	Oignon rouge	Jan Iri	6 (ZVG)

Tableau 2 : Liste des noms, synonymes et localisation des écotypes d'oignon du Niger (suite)

Blanc de Soumarana	Fara Albassa	Oignon blanc	Blanc de Maradi, Blanc de Tarna, Albassa, Fara albassa, El maradi,	7 (ZVG)
Violet de Soumarana	Jaa Albassa	Oignon rouge	Jaa albassa, El maradi, Albassa, Violet de Maradi, Violet de Tarna, Rouge de Tarna	7 (ZVG)
El Tassaou	El Tassaou	Oignon de Tassaoua	El Tassaou, local, Fara Albassa, Jaa Albassa, Albassa	8 (ZVK)
El Gamdou	El Gamdou	Oignon de Gamdou	El Gamdou, El Mirriah, local, Albassa	9 (ZVK)
El Guidimouni	El Guidimouni	Oignon de Guidimouni	Albassa Guidimouni, El Guidimouni, local, Albassa	10 (ZVK)
Irin Damana	Irin Damana	Oignon pluviale	Albassa Damana, El Damana, El Nigeria, Albassa, Naguiri	11 (ZVL)
Irin Rani	Albassa / Irin Rani	Oignon de contre saison	Albassa Rani, El Rani, local, Albassa, Kadaoua Arakou	11 (ZVL)
El Agadez	El Agadez	Oignon d'Agadez	Albassa Agadez, Albassa	12 (ZVI)

1 : Ayorou, **2 :** Gotheye, **3 :** Say, **4 :** Gaya, **5 :** Soukouloutan (**ZVF :** Sites de la zone de vallée du fleuve Niger) ;

6 : Madaoua, **7 :** Maradi (**ZVG :** Sites de la zone des vallées Ader-Doutchi-Maggia et Goulbi) ;

8 : Tassaou, **9 :** Gamdou, **10 :** Guidimouni (**ZVK :** Sites de la zone des vallées de Korama) ;

11 Diffa (**ZVL :** Sites de la zone des vallées du Lac Tachad et Komadougou-Yobé) ;

12 Agadez (**ZVI :** Sites de la zone de la vallée d'Irhazer).

Tableau 3 : Principaux caractères morphologiques et agronomiques des écotypes d'oignon du Niger

Ecotypes	Couleur des feuilles	Couleur des bulbes matures	Uniformité de couleur des bulbes	Forme des bulbes matures	Calibre des bulbes matures	Précocité de maturité des bulbes
Blanc de Galmi	Vert	Blanc	Peu variable	allongée, aplatie, sphérique	Moyen	Précoce
Blanc de Gotheye	Vert clair	Blanc	Uniforme	sphérique et divisée	Petit	Très précoce
Blanc de Soukougoutan	Vert	Blanc	Peu variable	allongée, aplatie, sphérique	Gros	Précoce
Blanc de Soumarana	Vert	Blanc	Peu variable	allongée, aplatie, sphérique	Moyen	Précoce
El Tassaou	Vert	Blanc	Variable	Conique	Gros	Tardive
El Gamdou	Vert	Brun	Très variable	Conique	Gros	Tardive
El Guidimouni	Vert foncé	Jaune	Très variable	Cône renversé	Gros	Très tardive
El Nigeria	Vert foncé	Violet foncé	Peu variable	aplatie, sphérique	Moyen	Précoce
Irin Damana	Vert foncé	Violet foncé	Variable	aplatie, sphérique	Gros	Tardive
Irin Rani	Vert	Violet	Variable	aplatie, sphérique	Gros	Tardive
Rouge de Gaya	Vert foncé	Rouge	Peu variable	Sphérique	Moyen	Précoce
Violet de Ayorou	Vert	Violet foncé	Variable	allongée, aplatie, sphérique	Moyen	Précoce
Violet de Galmi	Vert	Violet	Variable	allongée, aplatie, sphérique	Moyen	Précoce
Violet de Gotheye	Vert clair	Violet	Variable	sphérique et divisée	Petit	Très précoce
Violet de Say	Vert	Violet	Variable	allongée, aplatie, sphérique	Moyen	Précoce
Violet de Soumarana	Vert	Violet foncé	Très variable	allongée, aplatie, sphérique	Gros	Précoce
El Agadez	Vert	Violet foncé	Très variable	allongée, aplatie, sphérique	Moyen	Précoce

3.3.2. Procédés de nomination

L'origine, les caractères morphologiques, et les usages sont les critères utilisés par les producteurs d'oignon du Niger pour attribuer un nom vernaculaire à un écotype.

3.3.2.1. Origine

La taxonomie populaire d'oignon du Niger montre que les écotypes sont nommés par désignation directe de l'origine où la sélection de l'écotype était conduite. Ainsi, “*El Galmi*” ou “*Galmizo*” signifie respectivement en Haoussa et en Zarma, l'écotype originaire de Galmi. Cependant, à la zone d'origine les producteurs associent les caractères morphologiques tels la couleur des bulbes pour nommer un écotype d'oignon. Par exemple, le “*Blanc de Galmi*” est l'écotype de couleur blanche qui est produit dans la zone de Galmi.

3.3.2.2. Caractères morphologiques

En général, les producteurs enquêtés utilisent les caractères morphologiques dans les procédés de nomination des écotypes. La couleur et la forme des bulbes sont les principaux critères pour caractériser un écotype par les paysans. Ainsi les écotypes d'oignon du Niger sont soit de couleur violette, blanche, rouge ou brune (**Figure 2**).



Violet

Blanc

Rouge

Brun

Figure 2 : Diversité de couleurs d'oignon du Niger

En effet, les écotypes de couleur violette et blanche se rencontrent dans toutes les zones de production ; par contre les écotypes de couleur brune se trouvent uniquement dans la zone des “*Korama*” (**Figure 1**) et l'écotype de couleur rouge a été rencontré seulement à Gaya dans la zone du fleuve. En outre, les écotypes identifiés sont constitués d'un mélange d'oignon de couleurs et de formes différentes : c'est le cas du “*Violet de Galmi*” cultivé par les producteurs de la région de Tahoua. De ce fait, les producteurs de cette zone utilisent la forme de bulbe pour faire une

différenciation à l'intérieur de cet écotpe. C'est ainsi que le Violet de Galmi avec des bulbes de forme elliptique aplatie est appelé “*Tassa*”, celui avec des bulbes de forme sphérique “*Tawaraka*” et celui avec des bulbes de forme allongée ou oblongue “*Zalbo* ou *Kankaré*” (**Figure 3**).



Tawaraka

Tassa

Zalbo

Figure 3 : Diversité de forme des bulbes du Violet de Galmi

A: forme sphérique ; B: forme aplatie ; C: forme allongée

3.3.2.3. Usages

Les producteurs d'oignon enquêtés utilisent l'usage pour nommer leurs écotypes. En effet, à Gotheye, le taxon “*Gabou*” désigne aussi l'écotype “*Blanc de Gotheye*” qui est destiné à la déshydratation par les femmes pour produire un condiment de cuisine localement appelé “*Gabou*”. A Diffa, dans la zone du Lac Tchad, “*Irin Damana*” et “*Irin Rani*” sont des écotypes de la zone qui sont respectivement utilisés en culture pluviale et de contre saison.

3.3.3. Analyse de pertinence des différents descripteurs dans les sites enquêtés

Le **tableau 4** donne le nombre des descripteurs d'oignon qui sont utilisés par les producteurs des sites enquêtés. Parmi les descripteurs des bulbes, la forme et la couleur sont utilisées par la quasi-totalité des producteurs enquêtés (99%) et peu d'entre eux utilisent le nombre des lobes par bulbe, l'uniformité en forme des bulbes et l'uniformité en couleur des bulbes pour décrire un écotpe.

Tableau 4 : Nombre de producteurs utilisant les descripteurs d'oignon par site

Sites	Ay	Di	Gy	Gt	Gu	Mw	Mi	Ts	Gm	Sy	Sk	Total
Descripteurs des bulbes												
<i>Couleur des bulbes</i>	10	10	10	10	10	10	9	10	10	5	10	104
<i>Forme des bulbes matures</i>	8	9	4	10	4	10	5	10	10	10	10	90
<i>Uniformité en couleur des bulbes</i>	4	0	10	8	1	8	6	0	7	4	1	49
<i>Uniformité en forme des bulbes</i>	2	0	2	6	1	8	2	0	0	4	2	27
<i>Nombre des lobes par bulbe</i>	6	0	2	9	0	1	4	0	0	8	0	30
Descripteurs des feuilles												
<i>Longueur des feuilles</i>	5	7	2	9	8	9	5	8	3	3	6	65
<i>Couleur des feuilles</i>	5	0	0	9	6	8	5	8	3	3	6	53
<i>Diamètre des feuilles</i>	5	7	2	9	5	8	5	8	3	3	6	61
<i>Densité des feuilles</i>	3	0	2	9	5	9	5	8	3	2	6	52
<i>Architecture ou forme des feuilles</i>	2	2	1	8	4	7	3	8	3	0	6	44
Descripteurs des inflorescences												
<i>Habilité à fleurir</i>	4	9	1	6	2	5	2	4	7	1	5	46
<i>Fertilité des fleurs</i>	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0	2	7
<i>Nombre de fleurs par ombelle</i>	5	3	0	1	0	0	2	0	0	3	0	14
<i>Couleur des fleurs</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Couleur des anthères</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Date des premières floraisons</i>	4	7	1	2	2	2	2	0	7	3	0	30
<i>Date 50% de floraison</i>	2	4	0	1	2	1	2	0	7	3	0	22
<i>Date de maturité</i>	1	6	1	3	0	1	2	0	7	0	3	24
Descripteurs des graines												
<i>Couleur du tégument des graines</i>	0	0	0	8	0	3	2	0	0	0	0	13
<i>Forme des graines</i>	0	0	0	8	0	1	2	0	0	0	0	11
<i>Poids des graines</i>	0	0	0	6	0	1	2	0	0	0	0	9
Resistances aux stress biotiques												
<i>Résistance aux Champignons</i>	1	0	1	1	0	3	5	0	0	0	0	11
<i>Résistance aux Bactéries</i>	0	0	0	1	0	2	5	0	0	0	0	8
<i>Résistance aux Virus</i>	0	0	0	1	0	1	5	0	0	0	0	7
<i>Résistance aux Nématodes</i>	0	0	0	1	0	1	5	0	0	0	0	7
Resistances aux stress abiotiques												
<i>Tolérance à la sécheresse</i>	0	0	6	3	0	5	5	0	7	3	0	29
<i>Tolérance à la pluie</i>	0	0	7	3	0	4	5	0	0	0	0	19

Sites : **Ay** : Ayorou ; **Di** : Diffa ; **Gy** : Gaya ; **Gt** : Gotheye ; **Gu** : Gudimouni; **Mw** : Madaoua; **Mi** : Maradi; **Ts** : Tassaou ; **Gm** : Gamdou ; **Sy** : Say ; **Sk** : Soukoukoutan.

Pour l'ensemble des sites enquêtés les descripteurs des feuilles sont fréquemment (49%) utilisées pour identifier un écotype (**Tableau 4**). Mais un nombre important des producteurs (plus de 80%) de Gotheye, Madaoua, Guidimouni et Matameye sont en mesure de différencier les différents types d'oignon du Niger à partir d'un des critères des feuilles. Par contre les producteurs de Mirriah, Say et Gaya ont des difficultés à discriminer les écotypes à partir des feuilles.

Quarante-deux pour cent des producteurs identifient les écotypes d'oignon du Niger à partir de leur aptitude à fleurir la première année de production. Cependant les autres descripteurs des inflorescences sont relativement moins utilisés.

Moins de 12% des producteurs utilisent l'un des descripteurs des graines pour différencier les écotypes d'oignon qu'ils connaissent. Moins de 10% des producteurs enquêtés caractérisent les différents types d'oignon en utilisant la résistance aux stress biotiques comme critères. Il ressort des entretiens que les producteurs d'oignon du Niger n'arrivent pas à faire la différence entre les maladies causées par les champignons, les bactéries, les virus et les nématodes.

3.3.4. Structuration de la diversité nommée

La structuration de la diversité a été observée grâce à l'analyse factorielle des correspondances (**figure 4**). Les deux premiers axes 1 et 2 représentent respectivement 14,79 % et 13,88 % des informations retenues pour l'interprétation des résultats (**Tableau 5**).

Tableau 5 : Inertie et contribution des variables aux axes 1, 2 et 3 de l'analyse factorielle des correspondances (AFC)

Axes	Inertie	Contribution (%)	Proportions cumulées (%)
1	0,594	14,79	14,79
2	0,558	13,88	28,67
3	0,523	13,01	41,69

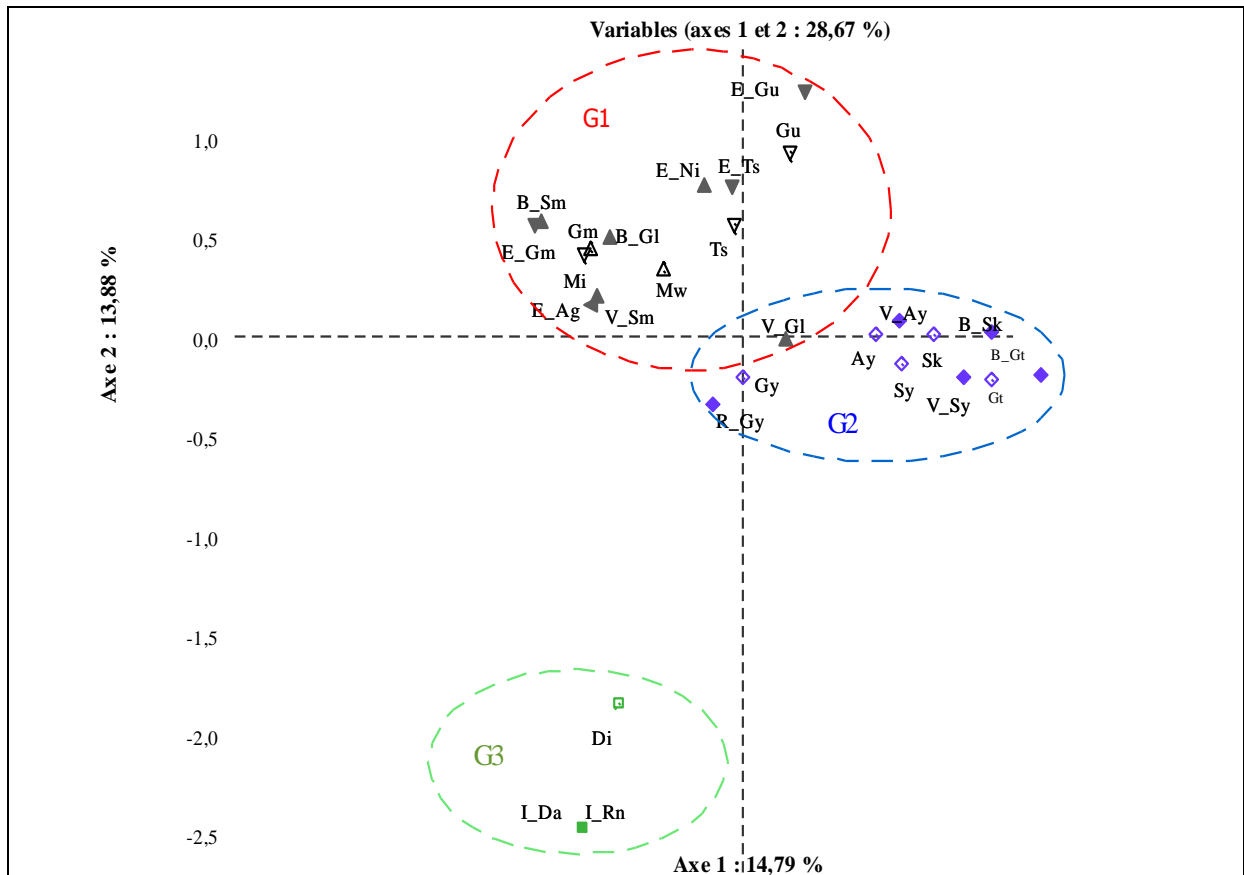


Figure 4 : Représentation graphique de la diversité nommée selon les deux premiers axes de l'analyse factorielle des correspondances (AFC)

Sites enquêtés : Ay : Ayorou, Di : Diffa, Gm : Gamdou, Gt : Gotheye, Gu : Guidimouni, Gy : Gaya, Mi : Maradi, Mw : Madaoua, Sk : Soukougoutan Sy : Say et Ts : Tassau.

Ecotypes nommés : B_Gl : Blanc de Galmi, B_Sm : Blanc de Soumarana, B_Gt : Blanc de Gotheye, B_Sk : Blanc de Soukougoutan, E_Ag : El Agadez, E_Gm : El Gamdou, E_Ni : El Nigeria, E_Gu : El Guidimouni, E_Ts : El Tassau, V_Gl : Violet de Galmi, V_Ay : Violet d'Ayorou, V_Got : Violet de Gotheye, V_Sy : Violet de Say, V_Sm : Violet de Soumarana, R_Gy : Rouge de Gaya, I_Rn : Irin rani et I_Dm : Irin Damana,

△ : Sites de la zone du Goulbi et des vallées, ▽ : Sites de la zone des Korama, ◇ : Sites de la zone du Fleuve, □ : Sites de la zone du Lac Tchad.

▲ : Ecotypes de la zone du Goulbi et des vallées, ▼ : Ecotypes de la zone des Korama, ◆ : Ecotypes de la zone du Fleuve, ■ : Ecotypes de la zone du Lac Tchad, ◀ : Ecotypes de la zone d'Irhazer

Sur l'axe 1 on observe une opposition entre les écotypes Blanc de Galmi, Blanc de Soumarana, El Agadez, El Gamdou et El Nigeria, d'une part, et Blanc de Gotheye, Violet d'Ayorou et Violet de Say, d'autre part. Ce même axe 1 montre une opposition entre, d'une part, les sites de Maradi, Madoua, Mirriah et Matameye, et, d'autre part, les sites de Gotheye, Ayorou et Say. L'axe 2 oppose les écotypes de la zone du Lac Tchad avec les écotypes de la zone de Korama. Ainsi on observe une convergence du même côté des axes entre les écotypes et les sites d'une même zone.

L'analyse des résultats de la **figure 4** permet de structurer la diversité des écotypes listés par les producteurs d'oignon du Niger en trois groupes. Le premier groupe G1, constitué des écotypes qui sont distribués du côté négatif de l'axe 1, est corrélé aux sites dont la principale langue parlée est le Haoussa. Le second groupe G2 est corrélé aux sites de la zone du fleuve à l'extrême Est du Niger et dont la langue parlée est le "Zarma" (côté positif de l'axe 2) et le troisième groupe G3 est composé du site de la zone du lac Tchad à l'extrême Ouest du Niger et dont la langue est le "Kanuri". De ce fait on observe une structuration spatiale et linguistique de la diversité des écotypes d'oignon listés par les producteurs enquêtés. Le **tableau 6** précise le nombre de citations des écotypes nommés au cours des enquêtes menées auprès de dix producteurs d'oignon par site.

Tableau 6 : Nombre de citations des écotypes nommés par site

Table 6: Number of ecotypes citations per site

Ecotypes	Sites										
	Ay	Di	Gy	Gt	Gu	Mw	Mi	Ts	Gm	Sy	Sk
Blanc de Galmi	0	0	0	0	0	9	4	0	0	0	0
Blanc de Gotheye	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Blanc de Soukougoutan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Blanc de Soumarana	0	0	0	0	0	0	10	0	8	0	0
El Tassaou	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
El Gamdou	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0
El Gudimouni	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
El Nigeria	0	0	0	0	4	6	1	5	0	0	0
Irin Damana	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irin Rani	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rouge de Gaya	0	1	9	0	0	2	0	0	0	0	0
Violet de Ayorou	9	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4
Violet de Galmi	10	10	10	10	8	10	7	10	10	10	10
Violet de Gotheye	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Violet de Say	1	0	0	1	0	0	0	0	0	8	0
Violet de Soumarana	0	2	1	0	0	6	10	1	0	0	0
El Agadaz	0	2	0	0	0	6	0	1	7	0	0

Sites : **Ay** : Ayorou ; **Di** : Diffa ; **Gy** : Gaya ; **Gt** : Gotheye ; **Gu** : Gudimouni; **Mw** : Madaoua; **Mi** : Maradi; **Ts** : Tassaou ; **Gm** : Gamdou ; **Sy** : Say ; **Sk** : Soukougoutan.

3.4. Discussions

L'enquête montre que 52 noms vernaculaires d'écotypes ont été inventoriés. Mais après le regroupement des noms vernaculaires en synonymes, 17 écotypes sont listés par les producteurs comme types d'oignon cultivés au Niger. L'existence de ces noms est liée à la diversité des langues et à la distribution géographique des zones de production. Ainsi, cette étude a montré que plusieurs noms différents peuvent désigner un même écotpe. Ce constat est aussi relevé dans les rapports des prospections et des articles qui attribuent à un même écotpe une multitude de noms. En effet l'écotype de la région de Maradi est appelé Violet de Maradi (INRAN, 2004), Violet de Soumarana (Nabos, 1976 ; Ricroch et *al.*, 1996), Rouge de Tarna (Silué et *al.*, 2003), Ja Albassa (Boukary et *al.*, 2012). Toutefois, les résultats de nos enquêtes montrent qu'il n'existe pas d'oignon de Maradi, de Soumarana ou de Tarna qui diffèrent entre eux pour des caractères morphologiques ou agronomiques. C'est le même écotpe Violet de Soumarana qui est nommé différemment. Il faut noter, à ce niveau, que l'écotype de la zone de Soumarana a été amélioré suite à un programme de sélection conduit par l'IRAT, à la station de recherche de Tarna qui est situé dans la région de Maradi au Niger (Nabos, 1976). Cette sélection avait abouti à la création de la variété améliorée, nommées aussi Violet de Soumarana, qui n'a malheureusement jamais été vulgarisée au Niger (Moumouni, 2006).

Par ailleurs un même nom peut être attribué à des écotypes d'oignon différents. Par exemple le nom "*Local*" revient régulièrement pour nommer les écotypes d'oignon du Niger. Selon les producteurs enquêtés, le nom "*Local*" fait référence à l'écotype qui a été sélectionné et conservé comme l'écotype de la zone avant l'introduction des variétés améliorées. Une situation similaire existe pour d'autres espèces : ainsi un même nom local peut désigner des écotypes différents de sorgho en Ethiopie (Mekbib, 2007).

Cette étude confirme les résultats obtenus par Moumouni (2006), qui met en relation la couleur des bulbes et la principale zone de production pour nommer un écotpe d'oignon. Cependant la nomenclature des écotypes à partir des couleurs de bulbe et des zones de production pose des problèmes. En effet, la couleur violette n'a pas de terminologie correspondante en Haoussa et en Zarma qui sont les deux principales langues parlées au Niger. Les deux couleurs rouge et violet sont appelées "*Jaa*" en Haoussa et "*Kireye*" en Zarma. Ainsi, un même écotpe de la zone de "*Goulbi*"

qui a une coloration violette foncée est appelé Rouge de Tarna (Silué et *al.*, 2003) ou Violet de Soumarana par Nabos (1976) et Currah (2002). En outre, l'analyse de la diversité nommée montre à partir des observations des critères morphologiques et des entretiens avec les producteurs, qu'il existe un seul écotype de couleur blanche dans la zone du fleuve. Ainsi le même écotype est nommé Blanc de Tillabéry par Nabos (1976) et Blanc de Gotheye par Moumouni (2006).

Le nombre et la qualité des critères utilisés par les producteurs pour caractériser un écotype varient d'un site à un autre. Les producteurs de Gotheye, Madaoua et Maradi utilisent beaucoup plus de descripteurs pour identifier un écotype. A titre d'exemple, à Gotheye, les producteurs utilisent plusieurs descripteurs car leurs écotypes se différencient entre eux par les descripteurs des feuilles, des bulbes, des graines et des inflorescences. Les producteurs de Madaoua et de Maradi font aussi appel à plusieurs descripteurs de l'IPGRI, mais cela s'explique par leur grande expérience et leur savoir-faire dans la production d'oignon. Pour la conservation et la sélection des ressources phytogénétiques agricoles, il est essentiel de prendre en compte la perception différente de variétés par des personnes distinctes (Barnaud et *al.*, 2007).

Au Niger, des variétés améliorées d'oignon ont été mises au point par des centres de recherche. La variété améliorée *Violet de Galmi* a certainement été la plus vulgarisée et commercialisée. A côté de l'écotype phare, *Violet de Galmi*, connu et produit dans toutes les zones de production d'oignon du Niger, il existe plusieurs types d'oignon qui appartiennent à des zones de production particulières. Une partie de la production de ces bulbes est conservée par les agriculteurs pour la production des semences, ce qui constitue un facteur important de conservation *in situ* des écotypes locaux d'oignon du Niger. La multiplication des semences du *Violet de Galmi* dans les mêmes sites de multiplication des écotypes locaux pourrait conduire à un flux de gènes entre ces différents types d'oignon à cause de la pollinisation croisée observée chez cette espèce, avec le risque de perdre l'intégrité génétique des écotypes locaux. Du fait de la vulgarisation de la variété améliorée *Violet de Galmi* dans plusieurs zones de production de l'oignon au Niger, Boukary et *al.* (2012) ont considéré les types *Violet de Galmi*, *Violet de Galmi Diffa*, *Violet de Galmi Gaya*, *Violet de Galmi Ayérou*, *Tassa*, *Kankaré* et *Tawarka* comme des écotypes différents, alors que dans le cadre de cette étude, ils ont été pris pour un seul écotype *Violet de Galmi* cultivé dans plusieurs zones de production.

Les producteurs d'oignon du Niger, au cours de temps et grâce à l'isolement des zones de production, ont sélectionné et préservé les types d'oignon qui répondent à leurs besoins et qui se sont mieux adaptés aux différents écosystèmes. La structuration de la diversité nommée montre une organisation spatiale et linguistique des écotypes d'oignon listés. La structuration linguistique a été observée chez les variétés d'oignon de l'Afrique de l'ouest par Rouamba et *al.* (2001). En effet, le groupe génétique d'oignon des pays francophones s'est différencié des variétés du Nigéria qui est un pays anglophone. La barrière linguistique pourrait être un facteur limitant les échanges de matériels génétiques entre les sociétés.

La gestion de la diversité des ressources génétiques de l'oignon du Niger est affectée par les modes d'échange, de transmission et de sélection de semences par les producteurs. Le rôle de l'organisation sociale dans la structuration de la diversité génétique ne doit pas être négligé. L'importance de la différenciation linguistique des agriculteurs dans l'organisation de la diversité nommée de plusieurs espèces cultivées a été largement discutée par Leclerc et Coppens d'Eeckenbrugge (2012) et Labeyrie et *al.*, (2013). Ils ont proposé un cadre méthodologique multidisciplinaire combinant une approche ethnobotanique et la génétique des populations. Grâce à de nombreux exemples chez le maïs et le sorgho, ces chercheurs ont montré que les connaissances traditionnelles des producteurs ainsi que les modes d'échanges de semences sont des facteurs fondamentaux dans la structuration de la diversité des ressources génétiques cultivées.

3.5. Conclusion

Au terme de cette étude, nos analyses démontrent que les critères qui sont les plus utilisés par les producteurs d'oignon du Niger pour catégoriser les écotypes sont la couleur des bulbes et la zone de provenance. Or ces critères ne sont pas suffisants pour distinguer les écotypes d'oignon. Une caractérisation morphologique sur base de tous les descripteurs identifiés par l'IPGRI chez l'oignon, ainsi qu'une évaluation agronomique pour l'analyse de la réaction des plantes à divers facteurs biotiques et abiotiques contribueront à mieux caractériser ces écotypes. En Europe et aux Etats Unis d'Amérique des marqueurs moléculaires ont été utilisés avec succès pour l'analyse de la diversité génétique des variétés de l'oignon (Baldwin et *al.*, 2012). Une analyse de la diversité génétique à l'aide des marqueurs moléculaires microsatellites pourrait conduire à mieux caractériser la structuration et la variabilité entre les écotypes d'oignon du Niger.

3.6. Références bibliographiques

- Altieri MA & Merrick LC**, 1987. In situ conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems. *Economic Botany* 4 : 86-96.
- Appa Rao S, Bounphanousay C, Schiller JM, Alcantra AP & Jackson MT**, 2002. Naming of traditional rice varieties by farmers in the Lao PDR. *Genetic Resources and Crop Evolution* 49 : 83-88.
- Baldwin S, Pither-Joyce M, Wright K, Wright K, Chen L & McCallum J**, 2012. Development of robust genomic simple sequence repeat markers for estimation of genetic diversity within and among bulb onion (*Allium cepa* L.) populations. *Molecular Breeding*, (doi:10.1007/s11032-012-9727-6).
- Barnaud A, Deu M, Garine E, McKey D & Joly HI**, 2007. Local genetic diversity of sorghum in a village in northern Cameroon: structure and dynamics of landraces. *Theoretical and Applied Genetics* 114 : 237-248.
- Boukary H., Roumba A., Adam T., Barage M. & Saadou M.**, 2012. Interactions entre la variabilité des écotypes de l'oignon (*Allium cepa* L.) et les facteurs agro-climatiques au Niger. *TROPICULTURA*, 30 (4), 209-215.
- Currah L**, 2002. Onions in the Tropics: Cultivars and Country Reports. In *Allium Crop Science:Recent advances*, ed. H.D. Rabinowitch and L. Currah, Wallingford, Oxon, UK: CABI Publishing; New York, NY, USA: CABI Publishing. p. 379-408.
- D'Alessandro S & Soumah A**, 2008. *Évaluation sous-régionale de la chaîne de valeurs oignon /échalote en Afrique de l'Ouest*. Bethesda, MD: projet ATP, Abt Associates Inc., 58p.
- FAOSTAT**, 2009. *Base de données statistiques agricoles FAO*, <http://faostat.fao.org/> (20/06/10).
- Gregor J W**, 1944. The ecotype. *Biological Reviews* 19 (1) : 20-30.
- INRAN**, 2004. *Rapport d'activité*, Collecte et épuration des cultivars locaux d'oignon, Rapport d'activité de la campagne 2002 -2003, PPEAP & INRAN, 12 p.
- IPGRI, ECP/GR, AVRDC**, 2001. *Descriptors for Allium (Allium spp.)*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy; European Cooperative Programme for Crop Genetic Resources Networks (ECP/GR), Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan, 43p.

- Jainchu Xu, Yongping Y, Yingdong Pu, George Ayad W & Eyzaguirre PB**, 2001. Genetic diversity in Taro *Colocasia esculenta* Schott (Araceae) in China : An ethnobotanical and genetic approach. *Economic Botany*, 55:14-31.
- Khar A, Lawande K E & Negi K S**, 2010. Microsatellite marker based analysis of genetic diversity in short day tropical Indian onion and cross amplification in related *Allium* spp. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58 (5), 741-754.
- Labeyrie V, Rono B & Leclerc C**, 2013. How social organization shapes crop diversity: an ecological anthropology approach among Tharaka farmers in Kenya. *Agriculture and Human Values*, 31: 97-107.
- Leclerc C. & Coppens D'eeckenbrugge G**, 2012. Social organization of crop genetic diversity The G x E x S interaction model, *Diversity* 4: 1-32.
- Leland R H**, 1987. Manuel pour la sélection du sorgho. (2^e éd.). *Andhra Pradesh*, Inde : ICRISAT.
- Mekbib F**, 2007. Infra-specific folk taxonomy in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in Ethiopia: folk nomenclature, classification, and criteria. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, (doi:10.1186/1746-4269-3-38).
- Moumouni AD**, 2006. Les effets de la réappropriation de la culture du Violet de Galmi par les producteurs d'oignon de la région de Tahoua – NIGER, sur la dynamique du territoire local, l'organisation sociale et économique, *Thèse de doctorat, Université de Toulouse-Le Mirail*, 281 p.
- Nabos J**, 1976. L'amélioration de l'oignon (*Allium cepa* L.) au Niger. *Agronomie tropicale*, Vol XXXI, N°4, IRAT Paris, 387- 397.
- Ricroch A, Rouamba A & Sarr A**, 1996. Valorisation de la production de l'oignon en Afrique de l'Ouest par la gestion dynamique de ses ressources génétiques. *Acta bot. Gallica* 143 (2/3) : 101-106.
- Rouamba A, Sarr A & Ricroch A**, 1997. Dinamic management of genetic ressource of *Allium cepa* L. (Onion) in west Africa, *Acta Hort.* 433 : 185-189
- Rouamba A, Sandmeier M, Sarr A & Ricroch A**, 2001. Allozyme variation within and among populations of onion (*Allium cepa* L.) from West Africa, *Theoretical and Applied Genetics* 103 (6/7) : 855-861.

Sambatti JBM, Martins PS & Ando A, 2001. Folk taxonomy and evolutionary dynamics of cassava: a case study in Ubatuba, Brazil. *Economic Botany*, 55(1) : 93-105.

Sagnard F et al., 2008. Analyse multiéchelle de la diversité génétique des sorghos : compréhension des processus évolutifs pour la conservation *in situ*, *Cahiers Agricultures* 17 (2) : 114-121.

Silué S, Fondio L, Coulibaly MY & Magein H, 2003. Sélection de variétés d'oignon (*Allium cepa* L.) adaptées au nord de la Côte d'Ivoire, *Tropicultura* 21 (3) : 129-134.

Thompson EC, Juan Z, 2006. Comparative cultural salience: measures using free-list data. *Field Methods* 18 : 398-412.

Turesson G, 1922. The species and the variety as ecological units. *Hereditas, Lund* 3 : 100-113.

4. Variabilité morphologique et agronomique des écotypes d'oignon (*Allium cepa* L.) identifiées par les producteurs du Niger.

ABDOU Rabiou, MALICE Marie, BAKASSO Yacoubou, SAADOU Mahamane,

BAUDOIN Jean-Pierre

Article accepté dans la revue TROPICULTURA

Résumé :

La diversité morphologique et agronomique de 16 écotypes d'oignon collectés au Niger a été analysée à l'aide des descripteurs établis par *Bioversity International*. L'expérimentation a été conduite dans les localités de Madaoua et Saga-Gorou, selon un dispositif en blocs aléatoires complets à quatre répétitions. Les analyses univariées et multivariées ont révélé une variabilité morphologique et agronomique des écotypes évalués. La Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) et l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD) sur neuf caractères quantitatifs ont montré une structuration de cette diversité en trois groupes basée sur la longueur et le diamètre des feuilles ainsi que sur le poids des bulbes. L'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) à partir des caractères morphologiques qualitatifs montre que les écotypes d'oignon du Niger sont structurés en cinq groupes. Les variables qualitatives les plus distinctives entre les écotypes d'oignon sont la couleur des feuilles, la forme et la couleur des bulbes et l'uniformité de la forme et de la couleur des bulbes. Cette étude ne nous a pas permis d'établir des corrélations entre les groupes composés à partir des caractères qualitatifs et ceux formés à partir des caractères quantitatifs. La distance génétique la plus grande est observée entre les écotypes les plus éloignés géographiquement.

Mots clés : Oignon, *Allium cepa* L., Variabilité morphologique, Ecotypes

Abstract

The morphological and agronomical diversity of 16 onion ecotypes collected in Niger were analyzed using the descriptors established by Bioversity International. The experimentation was conducted in Madaoua and Saga-Gorou localities, according to a randomized complete block design with four repetitions. The Hierarchical Ascendant Classification (HAC) and Factorial Discriminant Analysis (FDA) on nine quantitative traits point out a structuration of this diversity in three groups based on leaves length and diameter, and on bulbs weight. The Multiple Correspondence Analysis (MCA) based on qualitative morphological characters showed that Niger onion ecotypes are structured into five groups. The most distinctive qualitative variables between ecotypes are leaf color, bulb shape and color, uniformity of bulb shape and color. No correlation is found between the groups obtained from qualitative characters and the groups obtained from quantitative traits. The largest genetic distance is observed between the most geographically distant ecotypes.

Keywords: Onion, *Allium cepa* L., Morphological variability, Landraces

4.1. Introduction

Plante bisannuelle, l'oignon (*Allium cepa* L.) a besoin de deux saisons pour produire des graines. La première saison, il produit un bulbe comestible de forme et couleur variables suivant la variété. La deuxième année, après repos et plantation, le bulbe grossit et éclate en plusieurs bulbes qui donnent une ou plusieurs tiges fructifères (6). L'oignon appartient à la famille des *Alliaceae* et au genre *Allium*. La caractéristique principale de cette famille est la présence d'un bulbe formé par le renflement plus ou moins important de la base des feuilles (11). Jones et Mann (14) ont subdivisé cette espèce en trois groupes horticoles : *commun*, *proliferum* et *aggregatum*. Ce dernier groupe est constitué des échalotes qui se multiplient le plus souvent végétativement. Les échalotes possèdent un bulbe souterrain semblable à celui de l'oignon commun, mais plus petit et divisé comme celui de l'ail.

Classée au deuxième rang mondial après les tomates sur la liste des légumes cultivés, l'oignon fait l'objet d'une production croissante depuis une vingtaine d'années dans divers pays d'Afrique subsaharienne. Cette croissance correspond au développement du maraîchage de saison sèche, à une stratégie de rattrapage des mauvaises campagnes agricoles de saison des pluies et à une diversification des sources de revenu (2). En Afrique de l'ouest, l'oignon occupe le 2^e rang des légumes les plus cultivés après la tomate avec une production de près de 2 millions de tonnes/an (9). Au Niger, l'oignon constitue la plus importante des cultures maraîchères. Avec une production totale estimée à 447.000 tonnes, le Niger est le premier exportateur d'oignon d'Afrique de l'Ouest (4). La variété *Violet de Galmi* est la plus importante, mais plusieurs autres écotypes sont aussi présents. La diversité génétique de l'espèce est le plus souvent représentée par des variétés améliorées, des variétés paysannes et des écotypes (19, 20). Le terme variété améliorée signifie que la variété a fait l'objet d'amélioration par des centres publics ou privés de sélection végétale (12). Selon Leland (15), l'écotype est une population qui présente des formes particulièrement adaptées à un milieu bien déterminé. Les variétés paysannes ou encore variétés populations sont des variétés sélectionnées par les communautés rurales (12). De ce fait, les écotypes sont des variétés paysannes adaptées à un milieu bien déterminé, et se réfère toujours à une écologie spécifique. Toutefois, dans le cadre de cette étude, le terme écotype désigne une variété paysanne.

Au cours du temps, les producteurs d'oignon du Niger ont sélectionné et préservé, dans des zones de production isolées, les types d'oignon qui répondent à leurs besoins et qui se sont très bien adaptés aux différents écosystèmes. Au Niger la collecte, la conservation et l'utilisation des ressources génétiques de l'oignon est une activité récente. Les premières collectes dans ce pays ont été effectuées en 1960 par l'Institut Français de Recherche en Agronomie Tropicale (IRAT), avec une série de collecte d'écotypes locaux dans les régions du fleuve, le long de la *Maggia* au Nord et dans la vallée du *Goulbi* de Maradi. La collection de l'IRAT comporte aussi des accessions importées des Etats Unis d'Amérique, des Pays-Bas, du Japon, d'Israël, de France et d'Australie (20). A partir de 1975, de nouvelles prospections ont été réalisées par l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN), dans toutes les régions du pays. D'après Ricroh et *al.* (22) et Demol et *al.*, (8), les ressources phytogénétiques, incluant les écotypes, les variétés paysannes et améliorées ainsi que les espèces apparentées sont essentielles pour les futurs besoins en sélection comme réservoirs de potentialités agronomiques. Cependant, ces ressources sont menacées de disparition en raison de pratiques agronomiques privilégiant des variétés importées plus productives, et le plus souvent génétiquement uniformes. Currah (3) explique les problèmes liés à la conservation des ressources génétiques de l'oignon principalement par l'insuffisance de descripteurs adéquats pour une documentation précise et par le manque d'une politique de conservation à l'échelon national pour valoriser ces écotypes et variétés paysannes. La gestion des ressources phytogénétiques implique une caractérisation agronomique, morphologique, physiologique et génétique des individus conservés (7). Une évaluation de dix écotypes, portant sur six caractères morphologiques et agronomiques, a montré l'existence d'une variabilité chez les oignons du Niger. En considérant les caractéristiques de production, forme, coloration et conservation des bulbes, les variétés et écotypes se structurent en trois groupes agro-morphologiques (20).

Le présent travail analyse, sur base de plusieurs descripteurs qualitatifs et quantitatifs définis par l'IPGRI (13), la diversité d'un large échantillonnage des écotypes d'oignon provenant de toutes les régions du Niger. Les résultats obtenus seront discutés en tenant compte de la nature des caractères analysés ainsi que des paramètres de la diversité et de la différenciation génétique des écotypes d'oignon du Niger.

4.2. Matériel et Méthodes

4.2.1. Zones d'étude

Au Niger, la culture de l'oignon se pratique autour des points d'eau de surface, notamment des mares temporaires ou permanentes et le long du Fleuve. La **figure 1** montre la localisation des différentes zones de culture et les localités de Madaoua et Saga-Gorou où les expérimentations ont été conduites.

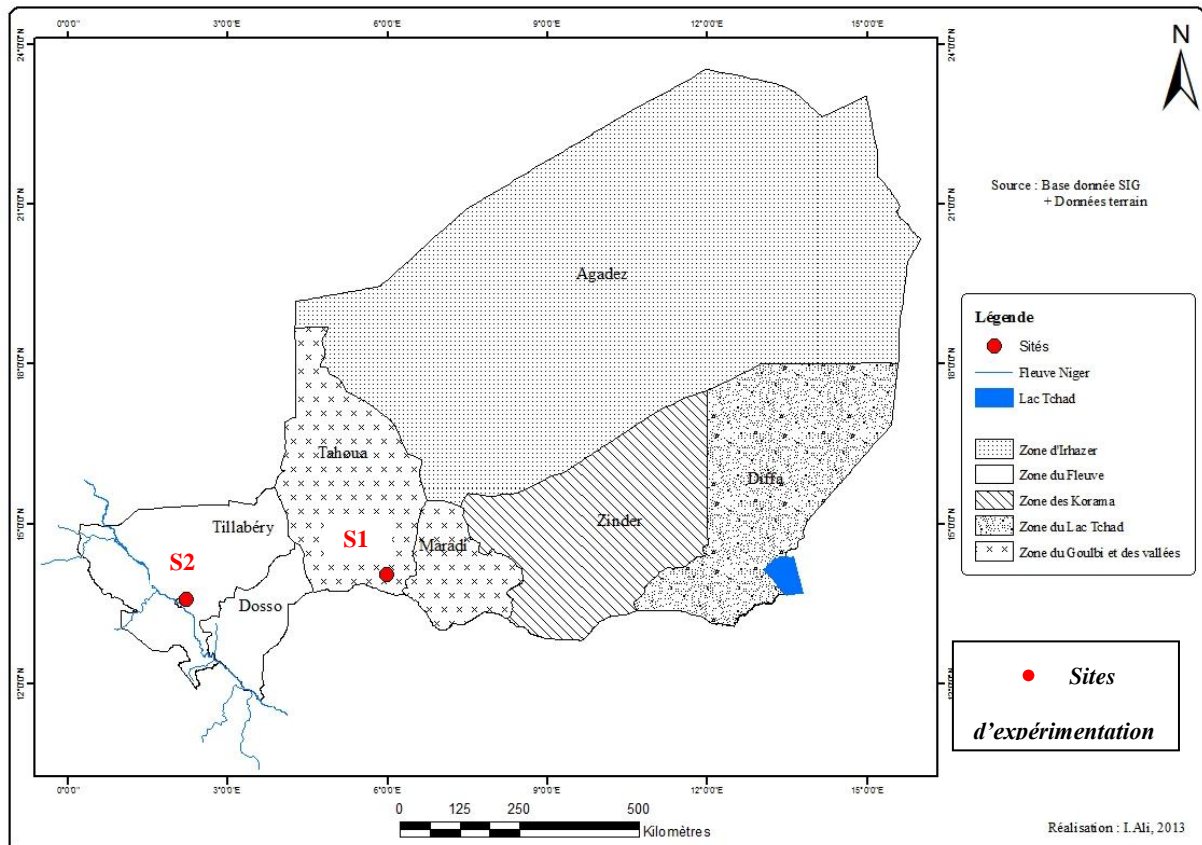


Figure 1 : Localisation des zones de cultures irriguées et des sites d'étude

S1: Localisation du site de Madaoua situé au centre sud du Niger dans la zone de la vallée de Maggia

S2: Localisation du site de Saga-Gorou situé à l'extrême ouest du pays dans la zone du Fleuve Niger

Pendant la campagne de cultures maraîchères 2010-2011, un premier site d'expérimentation a été installé à Madaoua. Cette localité est la principale zone de production de l'oignon au Niger, située au centre-sud du pays dans la zone de la vallée de *Maggia*. Le choix de ce premier site se justifie par les conditions environnementales optimales pour assurer une expression des caractères agro-morphologiques des écotypes d'oignon: le climat semi-aride et les sols hydromorphes associés à des sols ferrugineux, bien drainés et de bonne structure sont appropriés à la production de l'oignon (10).

Durant la campagne 2011-2012, le dispositif mis en place à Madaoua a été dupliqué à Saga-Gorou, à l'extrême ouest du pays dans la zone du fleuve, à une vingtaine de kilomètres de Niamey. Le site de Saga-Gorou présente un climat de type semi-aride et les sols des cuvettes sont des *gleysols* hydromorphes à texture argileuse particulièrement aptes à la riziculture et aux cultures maraîchères (16).

4.2.2. Matériel végétal

Le matériel testé se compose de 15 écotypes collectés auprès des producteurs d'oignon du Niger et d'une variété améliorée dont les semences proviennent du centre semencier français *Technisem*. D'après Boukary et *al.* (1), Moumouni (19) la couleur et la forme des bulbes sont les principaux critères employés par les paysans pour caractériser la diversité génétique entre et à l'intérieur des écotypes d'oignon. Dans ce document, nous avons employé le terme morphotypes pour désigner les individus identiques par écotype sur base des caractères qualitatifs de forme et de couleur des bulbes matures.

Au Niger, les graines sont multipliées dans des petites parcelles par des producteurs pour leurs propres usages. L'échantillonnage des graines a été réalisée dans les 12 sites de production répartis à l'est du pays dans la vallée du fleuve Niger, au centre-ouest dans la zone des vallées *Ader-Doutchi-Maggia* et *Goulbi*, au centre-est du pays dans la zone des vallées de *Korama*, à l'extrême est dans la vallée du Lac Tchad, et au Nord dans la vallée d'*Irhazer*. Pour chaque écotype, des graines de l'oignon ont été échantillonnées sur trente ombelles de plantes différentes dans la parcelle d'un seul producteur. Dans la plupart des sites, un seul écotype a été collecté, sauf dans deux sites où deux écotypes ont été échantillonnés. Les graines ont été extraites manuellement des fruits et stockés pendant 14 mois dans le congélateur à -20 ° C.

Le **tableau 1** donne la liste nominative des écotypes, accompagnée de leurs coordonnées géographiques de provenance, et des caractéristiques obtenues des producteurs ; ces écotypes sont comparés avec la variété améliorée *Violet de Galmi* utilisée comme témoin.

Tableau 1 : Liste nominative des écotypes, leurs coordonnées géographiques et leurs caractéristiques principales

Population	Sigles	Longitude (° E)	Latitude (° N)	Caractéristiques données par les producteurs
Violet d'Ayorou	(VAy)	0,919543	14,73000	Bulbes de couleur violette foncée
Blanc de Gotheye	(BGt)	1,568447	13,85876	Très précoce, bulbes blancs de petit calibre
Violet de Say	(VSy)	2,177210	13,38381	Précoce, bulbes violets de forme allongée
Rouge de Gaya	(RGy)	3,448040	11,88426	Bulbes rouges de forme sphérique
Blanc de Soukougoutan	(BSk)	3,885299	14,19044	Tardive, bulbes blancs de gros calibre, feuilles large
Violet de Galmi	(VGI)	5,675682	13,96691	Précoce, bulbes violets qui se conservent bien
Blanc de Galmi	(BGI)	5,675682	13,96691	Précoce, bulbes blancs
El Nigeria	(ENg)	5,137901	13,40750	Bulbes violets foncées qui se conservent mal
Blanc de Soumarana	(BSm)	7,113909	13,44949	Bulbes blancs à plusieurs lobes
Violet de Soumarana	(VSm)	7,113909	13,44949	Bulbes violets à plusieurs lobes
El Guidimouni	(EGu)	9,513376	13,69139	Tardive, bulbes jaunes de gros calibre
El Tassaou	(ETs)	8,483426	13,50093	Bulbes blancs de forme conique
El Gamdou	(EGm)	9,112533	13,61295	Bulbes violets de forme conique
Irin Rani	(IRn)	12,61224	13,31769	Bulbes violets de forme sphérique
El Agadez	(EAz)	8,102301	17,26782	Bulbe violets foncés de calibre moyen
Violet de Galmi*	(VTc)			Précoce, bulbes de couleur violette foncée

Violet de Galmi* : Semences produites et conditionnées par Technisem

4.2.3. Dispositif expérimental

Les graines ont été semées en pépinière le 2 octobre 2010 pour le site de Madaoua et le 7 octobre 2011 pour le site de Saga-Gorou, avec 10 g de semences sur 1m² de planche pour chaque écotype. Au bout de 50 jours, les jeunes plantes saines et robustes de 15-20 cm de haut sont repiquées dans la parcelle aux écartements de 20 x 20 cm, soit un total de 48 plantes d'un même écotype par parcelle. Le dispositif expérimental adopté est celui des blocs aléatoires complets avec 4 répétitions et 16 traitements, soit un écotype par traitement. Les parcelles élémentaires ont 2,5 m² de superficie. Deux blocs consécutifs étaient séparés par une allée de 0,5 m, tandis que deux parcelles consécutives étaient distantes de 0,30 m.

En pépinière, on a effectué un épandage de 2 kg/m² de matière organique décomposée et un apport de 10g/m² d'engrais minéral NPK 15-15-15 avant le semis, puis l'urée a été apportée à 25 jours après le semis à raison de 5 g/m². Au champ, on a apporté 2 kg/m² de matière organique décomposée et 20 g/m² d'engrais minéral NPK 15-15-15 avant le repiquage, et 20 g/m² d'urée un mois après le repiquage.

Avant les semis en pépinière et les repiquages au champ, les sols étaient désinfectés avec le Thioral, un mélange d'insecticide (matière active : Lindane 20%), et de fongicides (matière active : Thirame 20%) en respectant la dose de 250 g/ha pour le traitement. En pépinière et au champ, les traitements phytosanitaires ont été effectués à la fréquence d'une fois par mois avec un insecticide à large spectre, le Pyrical 480 EC (matière active : chlorpyrifos-éthyl), à la dose d'un litre par hectare. L'irrigation était de type gravitaire et se faisait trois fois par semaine en pépinière et deux fois par semaine en culture au champ.

4.2.4. Méthodes de collecte des données

Les données morphologiques et agronomiques ont été collectées sur les 16 accessions, sur base d'une liste de dix-neuf descripteurs, dont neuf caractères quantitatifs et dix caractères qualitatifs, des espèces du genre *Allium* établis par l'IPGRI (13). Ces descripteurs ont cependant été légèrement modifiés et adaptés aux conditions de cette étude. Le **tableau 2** donne la liste des caractères morphologiques et agronomiques utilisés pour l'analyse de la variabilité entre et à l'intérieur des écotypes.

Tableau 2 : Caractères morphologiques et agronomiques utilisés pour l'analyse de la variabilité entre et à l'intérieur des écotypes

Caractères étudiés	Etats et codes associés
Caractères morphologiques et qualitatifs	
Couleur des feuilles	Vert clair (CFE 1), Vert (CFE 2) Vert foncé (CFE 3)
Forme des bulbes matures	Aplatie (FBL1), Allongée (FBL 2), Sphérique (FBL 3), Forme sphérique divisé (FBL 4), Cône renversé (FBL 5), Conique (FBL 6)
Couleur des bulbes matures	Violet clair (CBL 1), Violet (CBL 2), Violet foncé (CBL 3), Blanc (CBL 4), Rouge (CBL 5)
Disposition et nombre de lobes par bulbe	Unilobé (NBL 1), Plusieurs lobes séparés (NBL 2), Plusieurs lobes non séparés (NBL 3)
Calibre des bulbes	Petit (CAB 1), Moyen (CAB 2), Gros (CAB 3)
Uniformité de forme des bulbes matures	Uniforme (UFB 1), Peu variable (UFB 2), Variable (UFB 3), Très variable (UFB 4)
Uniformité de couleur des bulbes matures	Uniforme (UFC 1), Peu variable (UFC 2), Variable (UFC 3), Très variable (UFC 4)
Densité foliaire des plantes	Faible (AFE 1), Moyenne (AFE 2), Forte (AFE 3), Très forte (AFE 4)
Caractères morphologiques et quantitatifs	
Hauteur de la plante	HP (cm)
Nombre des feuilles par plante	NF
Longueur maximale des feuilles	LF (cm)
Diamètre maximal des feuilles	DF (mm)
Biomasse aérienne fraîche	PF (g)
Biomasse aérienne sèche	PFS (g)
Poids des bulbes	PB (g)
Longueur des bulbes	LB (mm)
Diamètre des bulbes	DB (mm)
Caractères agronomiques et qualitatifs	
Taux de floraison en première année	Pas de fleur (HFR 1), Faible (HFR 2), Moyen (HFR 3), Intense (HFR 4)
Précocité de maturité des bulbes	Très précoce (PRE 1), Précoce (PRE 2), Tardive (PRE 3)

Tableau adapté de IPGRI (2001)

Une attention particulière a été portée sur le taux de floraison en première année. La floraison de première année est considérée comme un défaut agronomique (5). La précocité de maturité des bulbes est appréciée par le pourcentage de plantes couchées 100 jours après le repiquage (JAR), en se basant sur l'étude de Silué *et al.* (21). Pour tous ces descripteurs et pour chacun des 16 accessions testées, 20 plantes d'oignon ont été échantillonnées au hasard dans les différentes parcelles des blocs à 110 JAR, soit un total de 320 plantes. Toutes ces données morphologiques et agronomiques ont servi à identifier le nombre de morphotypes pour tous les écotypes analysés. Un morphotype peut être défini comme un groupe d'individus présentant des propriétés morphologiques et agronomiques identiques (17).

4.2.5. Analyses statistiques

Pour chacun des neuf caractères quantitatifs étudiés, nous avons procédé à une comparaison des moyennes par l'analyse de la variance (ANOVA), avec les logiciels Minitab 16 et Statistical Software. Lorsqu'une différence significative est observée entre écotypes pour un caractère donné, l'ANOVA est complétée par le test de groupement des moyennes selon la méthode de Tukey qui permet d'identifier les écotypes qui diffèrent significativement des autres (18). Une première analyse de variance à deux facteurs croisés fixes s'est intéressée aux facteurs écotypes et sites d'expérimentation ainsi qu'à leur interaction. Une seconde série d'analyse de variance à un facteur a été effectuée pour étudier le comportement des écotypes en fonction des sites.

Les données des caractères quantitatifs ont, par la suite, été soumises à une Analyse en Composantes Principales (ACP), suivie d'une Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) par la méthode UPGMA (Unweighted Pair-Group Method with arithmetic Average) ainsi que d'une Analyse Factorielle Discriminante (AFD). Pour cette dernière analyse, à travers le test de Wilks' Lambda, nous avons cherché à extraire des neuf variables quantitatives initiales un groupe de variables apportant une information suffisante pour la discrimination entre les groupes définis. Les logiciels Minitab 16 et XLSTAT version d'évaluation ont été utilisés pour réaliser l'ACP et la CHA.

Les données des caractères morphologiques et agronomiques qualitatifs, codés en données ordinales, ont été soumises à l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) et au calcul de la distance de Gower afin d'estimer les distances génétiques entre et à l'intérieur des écotypes testés, à l'aide du logiciel SAS version 9.2 for Windows. Pour rappel, l'indice de Gower est un coefficient permettant de

mesurer la distance génétique entre deux écotypes ou entre deux individus, que les données soient dichotomiques, quantitatives ou qualitatives (18). Il varie de 0 lorsque les relevés sont identiques, à 1 lorsque les deux relevés sont différents.

4.3. Résultats

4.3.1. Analyse de la diversité des caractères morphologiques quantitatifs

Les analyses de la variance des caractères quantitatifs des écotypes testés sont regroupées dans le **tableau 3**. On observe pour chaque caractère, à l'exception de la hauteur des plantes, une différence hautement significative entre les différents écotypes ($P < 0,001$). Les valeurs du coefficient de variation indiquent une forte variation entre les individus d'un même écototype pour tous les caractères des feuilles et des bulbes, ce qui souligne l'hétérogénéité des écotypes locaux. À l'inverse, on observe une faible variation de la hauteur des plantes, de la longueur et du diamètre des feuilles entre les individus de la variété améliorée *Violet de Galmi* (VTc) dont les semences proviennent du centre semencier français *Technisem*. Les individus des écotypes *Blanc de Gotheye* (BGt) et *El Guidimouni* (EGu) présentent les plus faibles valeurs de la longueur, du diamètre, et du poids des feuilles ainsi que du poids, de la longueur et du diamètre des bulbes. Cependant l'écotype *Blanc de Gotheye* possède le nombre le plus important de feuilles, contrairement à *El Guidimouni* qui produit peu de feuilles. Les écotypes *El Gamdou* (EGm), *El Tassaou* (ETs) et *Irin Rani* (IRn) présentent des individus à caractères végétatifs très développés avec des valeurs intermédiaires pour le poids des bulbes. Les valeurs les plus élevées du poids, de la longueur et du diamètre des bulbes se retrouvent dans les écotypes *Blanc de Soukhoukoutan* (BSk), *Violet de Galmi* (VGl) et *Violet de Soumarana* (VSsm).

L'interaction « écototype x site », traduisant le comportement d'un écototype particulier en fonction du site, est significatif pour tous les caractères quantitatifs analysés, sauf pour les variables hauteur de la plante (HP), poids de la biomasse aérienne sèche (PFS) et diamètre des bulbes (Annexe 2.1). Le **Tableau 4** montre les résultats de l'analyse de variance à un facteur pour chaque variable observée. En général, les variables quantitatives des feuilles et des bulbes se sont mieux développées au niveau du site de Madaoua (S1).

Tableau 3 : Valeurs moyennes et coefficients de variation des paramètres quantitatifs des écotypes testés

Ecotype	HPns		LF***		DF***		NF***		PF***		PFS***		PB***		DB***		LB***	
	Moy	CV	Moy	CV	Moy	CV	Moy	CV	Moy	CV	Moy	CV	Moy	CV	Moy	CV	Moy	CV
BGl	55,40a	19,33	40,80bcde	14	15,30bcd	16,61	14,20bcde	29,28	125,70bcd	15,4	10,66abcd	22,62	109,80abcd	35,71	55,30cd	19,92	54,50cde	11,61
BGt	58,05a	22,36	37,00e	18,91	9,700e	12,1	22,40a	54,89	103,30bcd	43,91	9,76bcd	36,59	104,60cd	25,61	53,60d	12,01	61,40abcde	10,79
BSK	56,20a	22,94	41,70bcde	13,92	17,75b	10,95	17,70abcde	32,95	139,10abc	40,32	11,20abc	27,3	159,15a	24,05	70,20a	12,38	63,70abcd	15,07
BSm	51,15a	27,55	37,40de	17,36	14,80cd	12,51	16,50abcde	33,05	94,85cd	33,52	8,39cd	33,67	96,65d	29,64	59,20bcd	13,65	56,00de	15,5
EAz	62,85a	26,38	43,80abcd	15,42	17,15bc	14,31	15,65bcde	35,32	155,45ab	34,63	13,26ab	36,86	120,45abcd	36,68	61,50abcd	18,74	68,60ab	19
EGm	60,95a	20,43	48,80a	14,86	21,00a	21,41	20,85ab	27,59	191,30a	44,08	14,44a	28,46	154,10ab	35,13	63,55abcd	17,44	67,45abc	15,42
EGu	51,75a	15,79	39,95bcde	15,65	13,85d	23,22	12,35e	21,22	69,45d	31,13	6,57d	38,78	50,80e	43,54	41,45e	21,14	51,40e	15,27
ENg	60,10a	19,57	44,10abc	12,78	16,50bcd	23,96	15,00bcde	28,69	137,15bc	35,41	10,69abc	27,96	111,50bcd	32,57	59,95abcd	16,18	58,55bcde	10,29
ETs	57,10a	17,85	46,10ab	13,15	17,95b	12,97	15,00bcde	16,04	129,85bc	29,77	10,85abc	22,58	116,95abcd	24,23	60,00abcd	14,24	65,00abcd	15,43
IRn	58,40a	16,7	43,85abcd	8,57	17,50bc	10,57	20,45abc	26,19	151,05ab	19,23	13,00ab	21,55	143,65abc	24,86	61,45abcd	15,15	68,15ab	17,32
RGy	57,80a	26,82	41,15bcde	15,25	16,65bcd	13,81	16,35abcde	30,05	145,35abc	32,27	12,17abc	33,46	127,90abcd	29,33	61,45abcd	15,9	62,75abcd	10,08
VAy	59,30a	25,33	40,95bcde	12,59	16,05bcd	13,02	14,65cde	22,18	133,60bc	33,49	10,60bcd	33,67	129,50abcd	33,41	58,90bcd	16,98	60,25abcde	11,91
VGl	62,15a	21,98	44,55abc	12,02	16,05bcd	11,34	14,50cde	24,97	122,40bcd	32,21	10,42bcd	27,17	150,75ab	39,16	69,00ab	20,41	65,45abcd	17,34
VSm	53,85a	12,14	41,15bcde	11,59	16,20bcd	12,92	20,35abcd	37,43	136,65bc	47,81	11,30abc	35,32	145,60abc	25,03	67,25abc	10,26	65,75abcd	15,67
VSy	52,50a	33,66	38,85cde	16,39	16,45bcd	15,84	17,05abcde	32,15	130,50bc	40,82	11,41abc	42,02	135,25abcd	37,6	61,80abcd	15,6	69,15ab	22,72
VTc	55,95a	10,88	43,20abcde	12,72	15,30bcd	16,71	14,25de	33,45	121,80bcd	37,43	9,69bcd	33,41	131,55abcd	33,67	66,10abc	11,43	70,85a	15,03
F	1,59		5,47		16,45		4,99		6,23		5,75		8,81		9,96		5,96	
P	0,076		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	

Pour chaque caractère, les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales avec la méthode de Tukey. **ns** : non significatif à 5% ; *******: significatif à 5%

HP : hauteur de la plante (cm), **LF** : longueur des feuilles (cm), **DF** : diamètre des feuilles (mm), **NF** : nombre des feuilles, **PF** : poids de la biomasse aérienne fraîche, **PFS** : poids de la biomasse aérienne sèche, **PB** : poids des bulbes, **DB** : diamètre des bulbes (mm), **LB** : longueur des bulbes (mm)

Écotypes : **BGl** : Blanc de Galmi, **BSm** : Blanc de Soumarana, **BGt** : Blanc de Gotheye, **BSk** : Blanc de Soukoukoutan, **EAz** : El Agadez, **EGm** : El Gamdou, **ENg** : El Nigeria, **EGu** : El Guidimouni, **ETs** : El Tassaou, **VGl** : Violet de Galmi, **VAy** : Violet d'Ayorou, **VSy** : Violet de Say, **VSm** : Violet de Soumarana, **RGy** : Rouge de Gaya et **IRn** : Irin rani.

Tableau 4 : Résultats des ANOVA des variables par écotpe en fonction des sites

Ecotype	Site	Variables quantitatives								
		HP	LF	DF	NF	PF	PFS	PB	DB	LB
BGl	S1	57,5a	44,6a	16,3a	16,1a	132,8a	11,9a	109,7a	58,5a	52,7a
BGl	S2	55,4a	40,8a	15,3a	14,2a	125,7a	10,6a	109,8a	55,3a	54,5a
BGt	S1	55,9a	40,9a	9,9a	32,6a	142,1a	11,4a	114,6a	52,9a	59,8a
BGt	S2	60,2a	33,1b	9,5a	12,2b	64,5b	8,0b	94,6a	54,3b	63,0a
BSk	S1	52,0a	38,2a	17,0a	20,4a	167,7a	11,8a	151,2a	67,2a	63,6a
BSk	S2	60,4a	45,2b	18,5a	15,0b	110,5b	10,5a	167,1a	73,2a	63,8a
BSm	S1	48,5a	33,4a	14,8a	18,4a	93,8a	7,9a	93,8a	54,6a	55,5a
BSm	S2	53,8a	41,4b	14,8a	14,6a	95,9a	8,8a	99,5a	63,8b	56,5a
EAz	S1	52,1a	40,6a	18,3a	17,9a	155,3a	12,8a	109,2a	55,2a	68,8a
EAz	S2	73,6b	47,0b	16,0b	13,4a	155,6a	13,7a	131,7a	67,8b	68,4a
EGm	S1	61,4a	45,6a	23,0a	25,1a	246,6a	16,7a	124,2a	58,7a	68,7a
EGm	S2	60,5a	52,0b	19,0b	16,6b	136,0b	12,1b	184,0b	68,4b	66,2a
EGu	S1	47,5a	37,6a	16,7a	12,1a	67,0a	6,6a	51,6a	40,8a	55,3a
EGu	S2	56,0b	42,3a	11,0a	12,6b	71,9a	6,5a	50,0a	42,1a	47,5b
ENg	S1	59,4a	42,2a	19,0a	16,8a	159,2a	11,4a	120,6a	60,4a	60,6a
ENg	S2	60,8a	46,0a	14,0b	13,2a	115,1b	9,9a	102,4a	59,5a	56,5a
ETs	S1	53,4a	43,2a	18,4a	16,5a	142,2a	11,2a	124,6a	60,7a	68,5a
ETs	S2	60,8a	49,0b	17,5a	13,5b	117,5a	10,4a	109,3a	59,3a	61,5a
IRn	S1	52,9a	41,7a	17,2a	22,7a	149,9a	14,1a	141,1a	59,4a	73,1a
IRn	S2	63,9b	46,0b	17,8a	18,2a	152,2a	11,8a	146,2a	63,5a	63,2a
RGy	S1	52,9a	38,9a	16,6a	18,4a	167,8a	11,9a	121,9a	56,3a	64,0a
RGy	S2	62,7a	43,4a	16,7a	14,3a	122,9b	12,3a	133,9a	66,6b	61,5a
VAy	S1	58,0a	40,7a	15,8a	15,4a	156,2a	11,0a	116,0a	54,3a	57,2a
VAy	S2	60,6a	41,2a	16,3a	13,9a	111,0b	10,1a	143,0a	63,5b	63,3a
VGl	S1	56,8a	43,5a	16,2a	15,8a	142,7a	10,5a	138,3a	61,7a	69,1a
VGl	S2	67,5a	45,6a	15,9a	13,2a	102,1b	10,2a	163,2a	76,3b	61,8a
VTc	S1	54,2a	43,0a	17,5a	16,5a	146,6a	11,4a	156,8a	63,3a	74,7a
VTc	S2	57,7a	43,4a	13,1b	12,0b	97,0b	7,9b	106,3b	68,9a	67,0b
VSy	S1	49,6a	39,7a	17,9a	20,9a	145,5a	10,7a	157,5a	61,9a	75,2a
VSy	S2	55,4a	38,0a	15,0b	13,2b	115,5a	12,0a	113,0b	61,7a	63,1a
VSm	S1	51,3a	38,3a	17,4a	25,2a	158,7a	12,2a	161,8a	65,8a	71,6a
VSm	S2	56,4a	44b	15b	15,5b	114,6a	10,3a	129,4b	68,7a	59,9b
Total S1		53,7a	40,5a	17,0a	19,6a	149,4a	11,4a	125,5a	58,2a	65,7a
Total S2		60,3b	43,6b	15,3b	14,1b	113,0b	10,3b	123,9a	63,3b	61,1b

Pour chaque caractère, les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales avec la méthode de Tukey.

Le dendrogramme réalisé grâce à la méthode UPGMA à partir des moyennes de neuf caractères quantitatifs mesurés dans les deux sites a permis d'identifier trois groupes de diversité agromorphologique et l'écotype *El Guidimouni* (EGu) (**Figure 2**). Les trois groupes se distinguent à la troncature du dendrogramme, correspondant à la valeur du coefficient de similarité $r=0.987$.

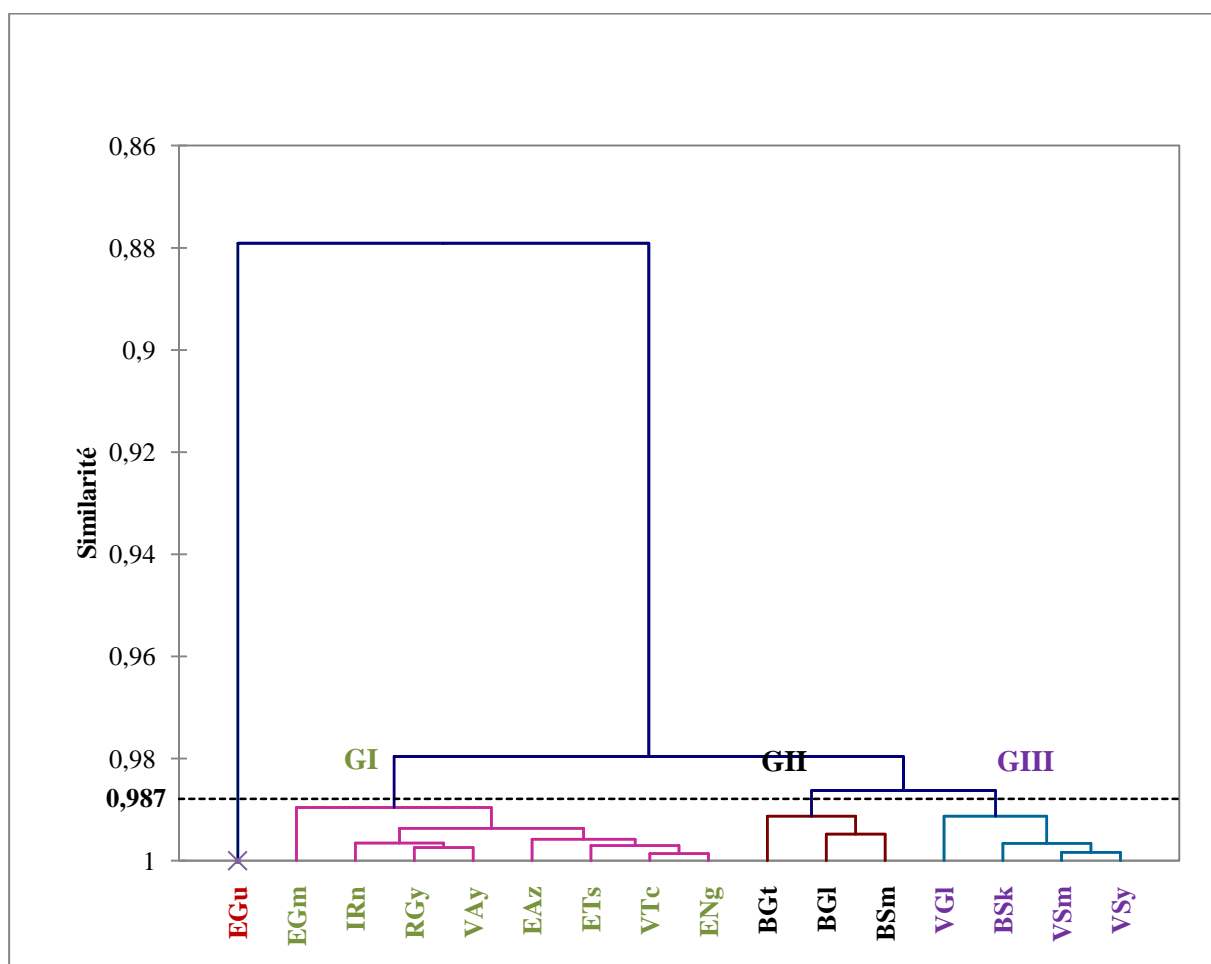


Figure 2 : Dendrogramme issu de la Classification Hiérarchique Ascendante des écotypes d'oignon du Niger.

GI = groupe 1 ; **GII** = groupe 2 ; **GIII** = groupe 3

Écotypes : **BGl** : Blanc de Galmi, **BSsm** : Blanc de Soumarana, **BGt** : Blanc de Gotheye, **BSk** : Blanc de Soukougoutan, **EAz** : El Agadez, **EGm** : El Gamdou, **ENg** : El Nigeria, **EGu** : El Guidimouni, **ETs** : El Tassaou, **VGl** : Violet de Galmi, **VAy** : Violet d'Ayorou, **VSy** : Violet de Say, **VSm** : Violet de Soumarana, **RGy** : Rouge de Gaya et **IRn** : Irin rani

Le **tableau 5** donne les principales caractéristiques des différents groupes formés par la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA). L'Analyse Factorielle Discriminante (AFD) sur l'ensemble des neuf variables quantitatives, à travers le test Wilks' Lambda, révèle une différence significative entre les 3 groupes sur la base de toutes les variables considérées, à l'exception de la variable NF (nombre de feuilles) (Prob.=0,165). Sur base des valeurs élevées du coefficient F de Fisher et du coefficient de détermination R^2 , les variables LF (longueur feuille), DF (diamètre maximal des feuilles), PF (poids de la biomasse aérienne fraîche), PFS (poids biomasse aérienne sèche) et PB (poids des bulbes) sont les plus discriminantes (**Tableau 5**).

Tableau 5 : Caractéristiques principales des différents groupes formés par la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA)

Variable	GI	GII	GIII	R^2	F	Prob
HP***	59,05 a	54,08 b	56,175 ab	0,558	5,142	0,023
LF***	43,99 a	38,78 b	41,563 ab	0,5	6,499	0,011
DF***	17,26 a	13,41 b	16,613 ab	0,498	6,553	0,011
NF***	16,52 a	16,36 a	17,400 a	0,758	2,075	0,165
PF***	145,69a	98,33 b	132,16 ab	0,43	8,628	0,004
PFS***	11,83 a	8,84 b	11,083 ab	0,501	6,482	0,011
PB***	129,45a	90,46 b	147,69 a	0,367	11,218	0,001
DB***	61,61 a	52,38 b	67,063 a	0,501	6,466	0,011
LB***	65,20 a	55,82 b	66,013 a	0,595	4,429	0,034
Statistique de Wilks' Lambda					10. (ddl=18)	0,004

***: significatif à 5%. **GI** : groupe 1 ; **GII** : groupe 2 et **GIII** : groupe 3, **Prob** : probabilité.

R^2 : coefficient de détermination ; **F** : Statistique F de Fisher.

HP : hauteur de la plante (cm), **LF** : longueur des feuilles (cm), **DF** : diamètre des feuilles (mm), **NF** : nombre des feuilles, **PF** : poids de la biomasse aérienne fraîche, **PFS** : poids de la biomasse aérienne sèche, **PB** : poids des bulbes, **DB** : diamètre des bulbes (mm), **LB** : longueur des bulbes (mm).

Par l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD), nous avons cherché à extraire des neuf variables quantitatives un groupe de variables apportant une information suffisante pour la discrimination entre les trois groupes définis par l'analyse de la diversité à partir de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Les corrélations entre les variables quantitatives et les axes discriminants sont présentées dans le **tableau 6**.

Tableau 6 : Corrélations entre variables quantitatives et axes discriminants

	Axe 1	Axe 2
HP	-0,633	0,270
LF	-0,717*	0,047
DF	-0,652*	-0,353
NF	0,260	-0,494
PF	-0,708*	-0,340
PFS	-0,625*	-0,408
PB	-0,574	-0,658*
DB	-0,537	-0,550
LB	-0,461	-0,524

* : Valeurs significatives

HP : hauteur de la plante (cm), **LF** : longueur des feuilles (cm), **DF** : diamètre des feuilles (mm), **NF** : nombre des feuilles, **PF** : poids de la biomasse aérienne fraîche, **PFS** : poids de la biomasse aérienne sèche, **PB** : poids des bulbes, **DB** : diamètre des bulbes (mm), **LB** : longueur des bulbes (mm).

Les caractères fortement corrélés au premier axe, expliquant 92,44% de la variabilité totale, sont la longueur et le diamètre des feuilles, ainsi que le poids de la biomasse aérienne, lesquels discriminent fortement les écotypes testés (**Figure 3**). Cet axe 1 sépare deux groupes : GI et GII, situés respectivement du côté négative et positive de l'axe. Le groupe GI comprend des écotypes *El Gamdou* (EGm), *Irin Rani* (IRn), *Rouge de Gaya* (RGy), *Violet Ayorou* (VAy), *El Agadez* (EAz), *El Tassaou*

(ETs), *El Nigeria* (ENg) et la variété améliorée *Violet de Galmi* (VTc), dont les plantes sont caractérisées par de plus grandes valeurs pour les caractères quantitatifs des feuilles, et le groupe II (GII) comprend les écotypes *Blanc de Gotheye* (BGt), *Blanc de Galmi* (BGl) et *Blanc de Soumarana* (BSm) caractérisés par des individus présentant des valeurs faibles pour le poids des bulbes et les caractères quantitatifs des feuilles. L'axe 2 ne cumule que 7,56% de la diversité totale. Cet axe distingue les écotypes du groupe III (GIII) qui sont caractérisés par de plus grandes moyennes du poids de la longueur et du diamètre des bulbes, par rapport aux écotypes du groupe I avec des bulbes de taille intermédiaire et le groupe II avec des bulbes de petite taille. Ce groupe III est composé des écotypes *Violet de Galmi* (VGI), *Blanc de Soukougoutan* (BSk), *Violet de Soumarana* (VSm) et *Violet de Say* (VSy).

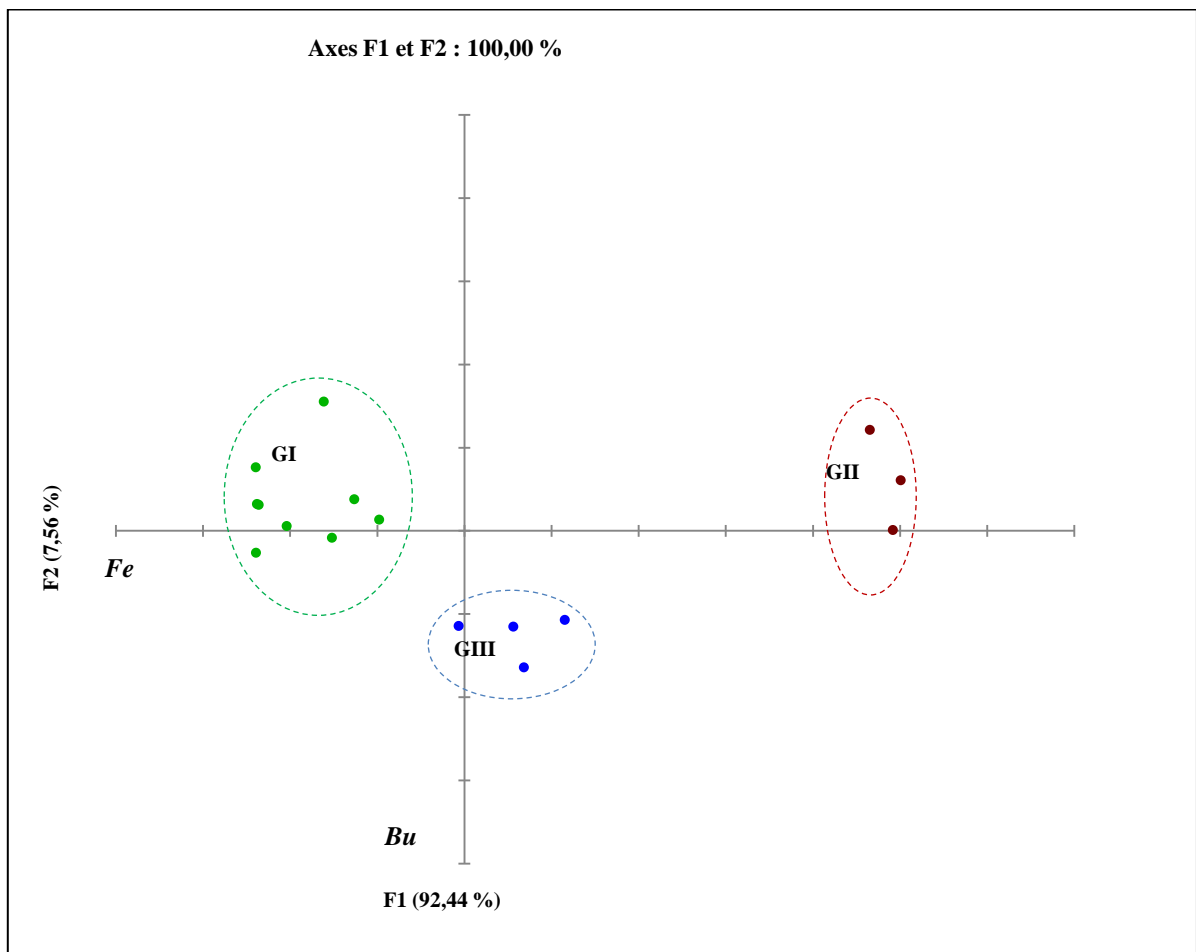


Figure 3 : Représentation des différents groupes dans le plan factoriel discriminant formé par les axes canoniques 1 et 2. *GI* = groupe 1 ; *GII* = groupe 2 ; *GIII* = groupe 3 ; Fe : Feuilles ; Bu : Bulbes

4.3.2. Analyse de la diversité des caractères morphologiques qualitatifs

Selon l'analyse des correspondances multiples des caractères morphologiques qualitatifs, codés en données ordinales, les deux premiers axes expliquent 29,24% de la variabilité, avec respectivement 17,76% et 11,48% pour l'axe 1 et 2. Les corrélations entre les deux axes et les variables morphologiques qualitatives des écotypes testés sont indiquées dans le **tableau 7**.

Tableau 7: Valeurs propres et contribution des caractères aux axes 1 et 2 à partir de l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM)

Composante	Axe 1	Axe 2
Valeurs propres	6,9864	4,589
Contributions à la variance (%)	17,76	11,48
Pourcentage cumulé (%)	17,76	29,24
Les variables définissant les axes et leurs valeurs propres		
	CFE1(+0,8755)	CFE3(-0,6537)
	FBL4(+0,8034)	CBL5(-0,4397)
	AFE4(+0,7396)	AFR4(-0,4381)
	PRE1(+0,6374)	PRE3(+0,2596)
	UCB1(+0,6332)	FBL3 (-0,2098)
	UFB1(+0,4943)	FBL5(+0,1605)
	NLB1(-0,4702)	UFB4(+0,1573)

AFE4 : Très forte densité foliaire, **AFR4** : Floraison élevé en première année, **CFE1** : Couleur verte claire des feuilles, **CFE3** : Couleur verte foncée des feuilles, **CBL5** : Couleur rouge des bulbes, **FBL3** : Forme sphérique des bulbes, **FBL4** : Bulbes à forme sphérique et divisés, **FBL5** : Forme “High top” des bulbes, **NLB1** : Bulbes unilobés, **PRE1** : Bulbes à maturité très précoce, **PRE4** : Bulbes à maturité très tardive, **UCB1** : Uniformité de la couleur des bulbes et **UFB1** : Uniformité de la forme des bulbes, **UFB4** : Forme variable des bulbes.

Les caractères fortement corrélés au premier axe ($r > 0,6$) sont la couleur verte claire des feuilles (CFE1), les bulbes à forme sphérique et divisés comme celui des échalotes (FBL4), la très forte densité foliaire (AFE4), les bulbes à maturité très précoce (PRE1), les bulbes unilobés (NLB1), l'uniformité de la couleur et de la forme des bulbes (UCB1 et UFB1). Parmi ces caractères, seul le caractère “bulbes unilobés (NLB1)” est négativement corrélé à l'axe 1. Les variables corrélées positivement à l'axe 2 sont la maturité très tardive des bulbes (PRE4), la forme de cône renversé ou obconique ou “*High top*” des bulbes (FBL5), et la forme variable des bulbes (UFB4). Les variables corrélées négativement à l'axe 2 sont la couleur verte foncée des feuilles (CFE3), la couleur rouge des bulbes (CBL5) et un taux de floraison élevé en première année. La **figure 4** permet de distinguer 5 groupes dans le plan des deux premières composantes principales (Axe1 et Axe2). L'axe 1 distingue les individus du groupe 1 (G1) et ceux du groupe 5 (G5), situé respectivement du côté positif et négatif de l'axe. Les individus de l'écotype *Blanc de Gotheye*, formant le groupe 1, se caractérisent par des feuilles de couleur verte claire (CFE1), des bulbes à forme sphérique et divisés (FBL4), l'uniformité de couleur et de forme des bulbes (UCB1 et UFB1), des bulbes de couleur blanche (CBL 4) et de petit calibre mais à maturité très précoce (PRE1). Les individus du groupe 5 sont composés de plantes caractérisées par des feuilles vertes (CFE2) et des couleurs et des formes variables des bulbes (UCB3 et UFB3). Ce groupe 5 est formé des écotypes *Blanc de Galmi*, *Blanc de Soumarana*, *Blanc de Soukouloutan*, *El Agadez*, *El Gamdou*, *El Tassaou*, *Violet de Galmi*, *Violet d'Ayorou*, *Violet de Say*, *Violet de Soumarana* et *Irin rani*. Les individus de l'écotype *El Guidimouni* qui forme le groupe 2 (G2) occupent la partie positive de l'axe 2, ce qui correspond à des individus possédant des bulbes de forme “*High top*” (FBL 5), une variabilité dans la couleur et la forme des bulbes (UCB4 et UFB4) et à maturité très tardive (PRE4). Sur le côté négatif de l'axe 2 apparaissent le groupe 3 (G3) composé par des individus de l'écotypes *Rouge de Gaya* (RGy) et le groupe 4 (G4) formé par des individus de l'écotype *El Nigeria*. Les individus de ces groupes G3 et G4 sont représentés par des plantes caractérisées par des feuilles de couleur verte foncée (CFE3) et par un taux de floraison élevé en première année (AFR4), mais les individus du groupe 3 ont des bulbes de couleur rouge (CBL5) et ceux du groupe 4 ont des bulbes de couleur violette foncée (CBL3). Il est important

de noter que quatre groupes (G1, G2, G3 et G4) correspondent chacun à un écotpe, alors que le groupe 5 (G5) regroupe tous les autres écotypes.

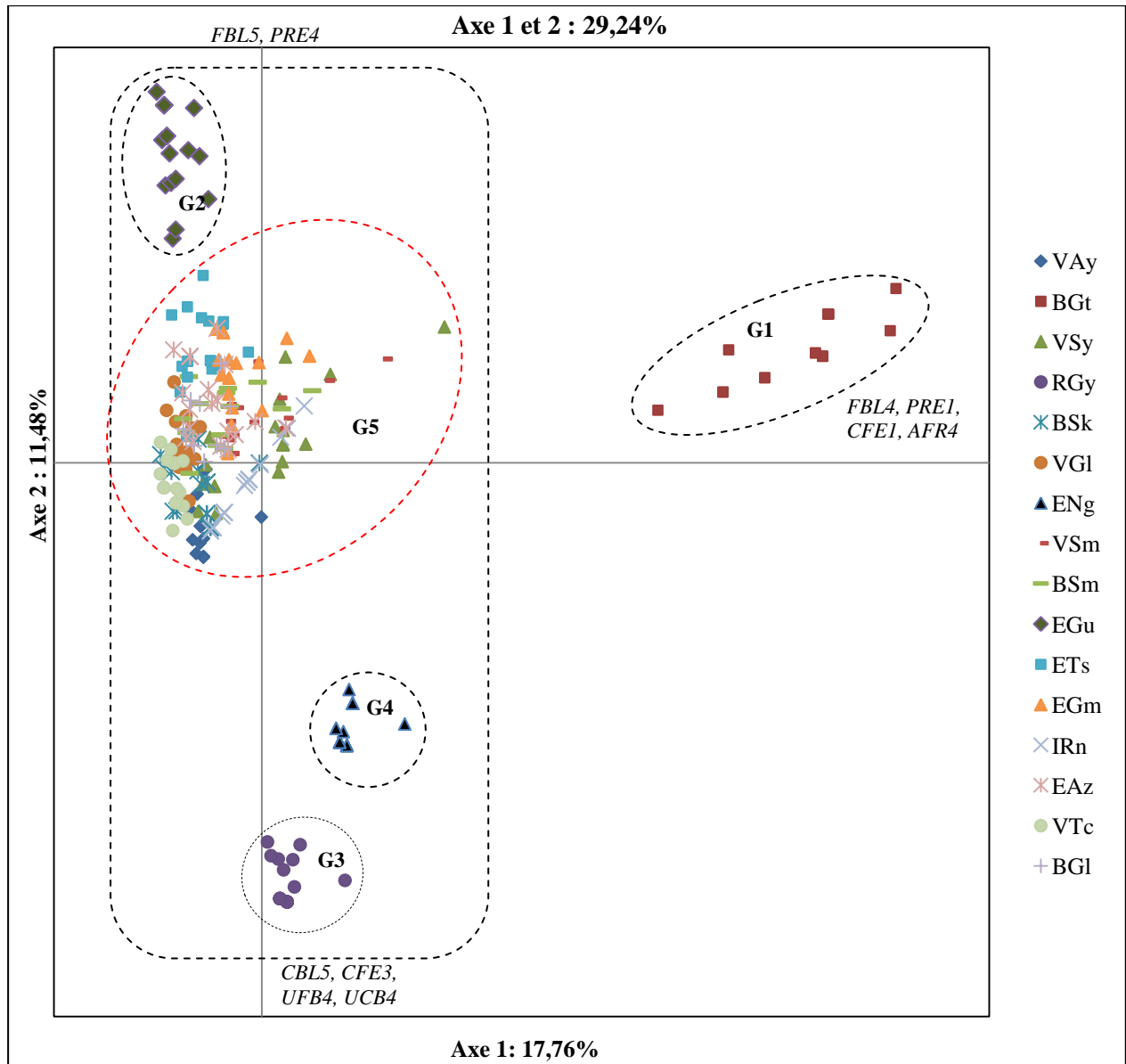


Figure 4 : Analyse des Correspondances Multiples (ACM) sur l'ensemble des écotypes réalisée sur base des données morphologiques qualitatives. **G1** = groupe 1 ; **G2** = groupe 2 ; **G3** = groupe 3 ; **G4** = groupe 4 ; **G5** = groupe 5.

Écotypes : **BGl** : Blanc de Galmi, **BSm** : Blanc de Soumarana, **BGt** : Blanc de Gotheye, **BSk** : Blanc de Soukougoutan, **EAz** : El Agadez, **EGm** : El Gamdou, **ENg** : El Nigeria, **EGu** : El Guidimouni, **ETs** : El Tassaou, **VGl** : Violet de Galmi, **VAy** : Violet d'Ayorou, **VSy** : Violet de Say, **VSm** : Violet de Soumarana, **RGy** : Rouge de Gaya et **IRn** : Irin rani

AFR4 : Floraison très importante la première année, **CBL5** : Couleur rouge des bulbes, **CFE1** : Couleur verte claire des feuilles, **CFE3** : Couleur verte foncée des feuilles, **FBL4** : Forme divisé des bulbes, **FBL5** : Forme de cône renversé des bulbes, **PRE1** : bulbification très précoce, **PRE4** : bulbification très tardive, **UFB4** : Forme très variable des bulbes, **UCB4** : Couleur très variable des bulbes.

Les distances moyennes de Gower entre les écotypes testés, et les distances minimales, moyennes et maximales de Gower à l'intérieur des écotypes testés, sont indiquées dans le **tableau 8**. On trouve la plus grande valeur de la distance de Gower (0,80) entre les écotypes *Blanc de Gotheye* et *El Guidimouni* ; la plus petite valeur (0,17) de cette distance est trouvée entre les écotypes *Blanc de Galmi* et *Blanc de Soumarana*.

A l'intérieur des écotypes, la distance moyenne entre individus par écotype testé varie de 0,08 à 0,23. Les valeurs minimales de la distance de Gower entre individus ont été trouvées chez les écotypes *El Nigeria* (ENg=0,08±0,06), *Blanc de Gotheye* (BGt=0,10±0,06), *Rouge de Gaya* (RGy=0,09±0,09) et les valeurs maximales entre individus chez les écotypes *El Gamdou* (EGm=0,23±0,09), *Violet de Say* (VSy=0,23±0,09), *Violet de Galmi* (VGl=0,22±0,09), *El Tassaou* (ETs=0,20±0,1). La valeur maximale de 0,90 caractérise la distance séparant deux individus appartenant aux deux écotypes distincts : *Blanc de Gotheye* (BGt) et *El Gamdou* (EGm). La valeur minimale de 0 correspond à des individus d'un même écotype présentant des propriétés morphologiques identiques.

Le **tableau 9** indique le nombre de morphotypes par écotype sur base des caractères qualitatifs de forme et de couleur des bulbes matures. Le nombre maximum de 9 morphotypes est obtenu chez les écotypes *El Gamdou* (EGm), *El Guidimouni* (EGu), *El Tassaou* (ETs). Le nombre le plus faible est obtenu chez les écotypes *Blanc de Gotheye* (BGt) avec un seul morphotype, *El Nigeria* (Eng) avec deux morphotypes, *Rouge de Gaya* (RGy) avec 3 morphotypes.

Tableau 8 : Distances de Gower entre écotypes et entre individus d'un même écotype

Distance moyenne de Gower entre écotypes																		Entre individus d'un même écotype			
		<i>BGl</i>	<i>BGt</i>	<i>BSk</i>	<i>BSm</i>	<i>EAz</i>	<i>EGm</i>	<i>EGu</i>	<i>ENg</i>	<i>ETs</i>	<i>IRn</i>	<i>RGy</i>	<i>VAy</i>	<i>VGl</i>	<i>VSy</i>	<i>VSm</i>	<i>VTc</i>	<i>Moy</i>	<i>Ecar</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
		<i>G5</i>	<i>G1</i>	<i>G5</i>	<i>G5</i>	<i>G5</i>	<i>G5</i>	<i>G2</i>	<i>G4</i>	<i>G5</i>	<i>G5</i>	<i>G3</i>	<i>G5</i>	<i>G5</i>	<i>G5</i>	<i>G5</i>	<i>G5</i>				
<i>BGl</i>	<i>G5</i>	0,18																0,18	0,09	0,00	0,40
<i>BGt</i>	<i>G1</i>	0,70	0,10															0,10	0,06	0,00	0,30
<i>BSk</i>	<i>G5</i>	0,31	0,60	0,16														0,16	0,09	0,00	0,35
<i>BSm</i>	<i>G5</i>	0,17	0,67	0,30	0,17													0,17	0,09	0,00	0,45
<i>EAz</i>	<i>G5</i>	0,33	0,71	0,35	0,35	0,22												0,22	0,09	0,00	0,47
<i>EGm</i>	<i>G5</i>	0,27	0,74	0,38	0,28	0,41	0,23											0,23	0,09	0,00	0,45
<i>EGu</i>	<i>G2</i>	0,41	0,80	0,49	0,43	0,38	0,39	0,18										0,18	0,09	0,00	0,35
<i>ENg</i>	<i>G4</i>	0,52	0,59	0,54	0,53	0,49	0,63	0,70	0,08									0,08	0,06	0,00	0,20
<i>ETs</i>	<i>G5</i>	0,29	0,71	0,39	0,30	0,38	0,30	0,49	0,56	0,20								0,20	0,09	0,00	0,35
<i>IRn</i>	<i>G5</i>	0,30	0,69	0,27	0,31	0,28	0,36	0,46	0,41	0,33	0,15							0,15	0,08	0,00	0,40
<i>RGy</i>	<i>G3</i>	0,54	0,58	0,46	0,55	0,54	0,64	0,73	0,27	0,58	0,50	0,12						0,12	0,08	0,00	0,30
<i>VAy</i>	<i>G5</i>	0,33	0,68	0,34	0,34	0,30	0,42	0,50	0,40	0,34	0,31	0,42	0,17					0,17	0,10	0,00	0,45
<i>VGl</i>	<i>G5</i>	0,29	0,69	0,27	0,31	0,30	0,36	0,43	0,54	0,34	0,30	0,51	0,27	0,22				0,22	0,09	0,00	0,40
<i>VSy</i>	<i>G5</i>	0,37	0,72	0,44	0,38	0,35	0,45	0,52	0,54	0,36	0,43	0,53	0,28	0,38	0,23			0,23	0,09	0,00	0,43
<i>VSm</i>	<i>G5</i>	0,31	0,66	0,34	0,31	0,27	0,38	0,48	0,44	0,28	0,25	0,51	0,26	0,30	0,38	0,20		0,20	0,09	0,00	0,40
<i>VTc</i>	<i>G5</i>	0,38	0,68	0,32	0,41	0,33	0,38	0,43	0,43	0,46	0,26	0,48	0,37	0,33	0,50	0,35	0,16	0,16	0,09	0,00	0,40

Écotypes : *BGl* : Blanc de Galmi, *BSm* : Blanc de Soumarana, *BGt* : Blanc de Gotheye, *BSk* : Blanc de Soukoukoutan, *EAz* : El Agadez, *EGm* : El Gamdou, *ENg* : El Nigeria, *EGu* : El Guidimouni, *ETs* : El Tassaou, *VGl* : Violet de Galmi, *VAy* : Violet d'Ayorou, *VSy* : Violet de Say, *VSm* : Violet de Soumarana, *RGy* : Rouge de Gaya et *IRn* : Irin rani.

G1 = groupe 1 ; *G2* = groupe 2 ; *G3* = groupe 3 ; *G4* = groupe 4 ; *G5* = groupe 5.

Moy : Moyenne, *Ecar* : Ecart type, *Min* : Minimum et *Max* : Maximum.

Tableau 9 : Nombre d'individus identiques pour les variables de forme associées à la couleur des bulbes et de morphotypes pour les écotypes analysés

Nombre d'individus identiques pour les variables de forme et couleur des bulbes par morphotype																									Nombre total d'individus	Nombre de Morphotypes
Ecotypes	Plate					Allongée				Sphérique					Echalote		High top				Conique					
	VC	V	VF	B	R	VC	V	VF	B	VC	V	VF	B	R	VF	B	VC	V	VF	B	V	VF	B			
BGt																20								20	1	
BGl		2					2				4	2	10											20	5	
BSk	1	1		4					3	3			8											20	6	
BSm	2			3					1	1	2	1	9			1								20	8	
EAz			3					3					12	2										20	4	
ENg			4										16											20	2	
RGy					2									1	17									20	3	
V Ay		3	2					2			4	9												20	5	
V Gl		5	3				2				5	4	1											20	6	
V Say		1	2				5	3	1		3	4	1											20	6	
V Sm			6						1		3	7	1		2									20	6	
V Tc			3					2			1	14												20	4	
IRn							4					10							1	1		4		20	5	
ETs		2							2		1	1	1							1	4	2	6	20	9	
EGu						2	2		2	1		1					1	5	4	2				20	9	
EGm		1	1								1	1	1					3	2		8		2	20	9	
Sous Total	3	15	24	7	2	2	11	14	10	5	24	82	35	17	2	21	1	8	7	4	12	6	8	320		
Total	51					37				163					23		20				26			320		
Pourcentage	15,94					11,56				50,94					7,19		6,25				8,13			100		

Écotypes : **BGl** : Blanc de Galmi, **BSm** : Blanc de Soumarana, **BGt** : Blanc de Gotheye, **BSk** : Blanc de Soukouloutan, **EAz** : El Agadez, **EGm** : El

Gamdou, **ENg** : El Nigeria, **EGu** : El Guidimouni, **ETs** : El Tassaou, **VGl** : Violet de Galmi, **VAy** : Violet d'Ayorou, **VSy** : Violet de Say, **VSm** : Violet de

Soumarana, **RGy** : Rouge de Gaya et **IRn** : Irin rani. **VC** : Violet clair, **V** : Violet, **VF** : Violet foncé, **R** : Rouge, **B** : Blanc.

4.4. Discussion

L'ensemble des analyses portant sur les caractères quantitatifs et qualitatifs a permis d'identifier une importante variabilité agro-morphologique entre les écotypes d'oignon du Niger à partir de la précocité de bulbification, le calibre et le poids des bulbes, la taille et le poids des feuilles. Les écotypes collectés dans la zone de *Korama* et du Lac Tchad sont caractérisés par une bulbification tardive et des valeurs plus élevées pour les caractères quantitatifs de la partie aérienne de la plante. L'écotype Blanc de Gotheye de la zone du fleuve est caractérisé par des bulbes divisés et de petit calibre mais à maturité très précoce. Les écotypes originaires de la zone du *Goulbi* et de la vallée de *Maggia* sont précoces avec des bulbe de forme sphérique. Des résultats similaires basés sur plusieurs caractères morphologiques et agronomiques ont été mis en évidence au niveau d'écotypes d'oignon collectés au Niger (21) et en Afrique de l'ouest (24). Nos résultats de caractérisation des écotypes d'oignon du Niger montrent que les caractères morphologiques qualitatifs les plus distinctifs sont la couleur des feuilles, la forme et la couleur des bulbes. Cette variabilité de couleur et forme des bulbes chez les écotypes d'oignon du Niger en particulier mais aussi chez d'autres écotypes de l'Afrique tropicale en général a été observée par Ricroch et *al.* (22), De Lannoy (6), Currah (3) et Boukary et *al.* (1).

Dans le cadre de cette étude, la structuration de la diversité génétique correspond à classer en groupes homogènes les écotypes d'oignon selon les caractères morphologiques et agronomique, et aux relations que ces groupes entretiennent entre eux. La structuration de la diversité génétique des écotypes d'oignon n'a pas permis de définir une organisation spatiale de la diversité à partir des caractères morphologiques et agronomiques. Cependant, certains caractères ont été identifiés uniquement dans certaines zones de production. C'est le cas du caractère de bulbes divisés comme celui des échalotes observé uniquement dans la zone du fleuve. C'est aussi le cas des bulbes de couleur jaune avec une forme cônique et obcônique qui se retrouvent uniquement dans la zone des *Korama*.

Les plus grandes valeurs de la distance de Gower ont été trouvées entre l'écotype de la zone de Fleuve : *Blanc de Gotheye* et ceux de la zone du Lac Tchad : *El Guidimouni* et *El Gamdou*. Nous pouvons en conclure que les écotypes les plus éloignés géographiquement sont également ceux qui

présentent la plus grande distance génétique entre eux. En effet, Currah (3), Moumouni (19) et Ricroch et *al.* (22) ont montré que les facteurs de l'environnement, tels que la longueur du jour, l'humidité et la température entraînent des effets variables sur le développement végétatif et physiologique de l'oignon.

Les **tableaux 8 et 9** montrent l'existence d'une grande variabilité morphologique à l'intérieur des écotypes étudiés. Les coefficients de variation élevés observés pour les caractères morphologiques quantitatifs et l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) réalisée sur base des données morphologiques qualitatives, confirment cette importante variabilité à l'intérieur des écotypes. Cette forte ségrégation qui a rendu difficile la description des écotypes testés, a été observée par Rouamba et Ricroch (24) sur les variétés et écotypes d'oignon d'Afrique de l'ouest, et pourrait résulter de flux gènes. Au Niger, les flux de gènes sont principalement expliqués par les échanges de semences entre producteurs et la pollinisation croisée des écotypes d'oignon cultivés dans des champs contigus, et pourrait constituer une menace pour la stabilité génétique des écotypes.

4.5. Conclusion :

Les distances moyennes de Gower indiquent une importante variabilité génétique entre et l'intérieur des écotypes d'oignon testés. Les caractères morphologiques et agronomiques les plus distinctives sont le poids des bulbes, la longueur et le diamètre des feuilles, la précocité de la maturité des bulbes, la couleur des feuilles, la forme et la couleur des bulbes, l'uniformité de la forme et de la couleur des bulbes. Cette diversité génétique de l'oignon pourrait être conservée efficacement à travers un programme de conservation *ex situ*, mais aussi un programme de conservation *in situ* à la ferme pour éviter ou limiter la menace de disparition des écotypes.

Cette étude montre aussi l'adoption en milieu local des écotypes d'oignon du Niger. Les producteurs du Niger exercent une sélection des bulbes sur la base leur couleur et forme, en particulier chez les écotypes *Blanc de Gotheye*, *Blanc de Soukougoutan*, *Rouge de Gaya*, *El Nigeria*, *Irin rani*, *El Tassaou*, *El Gamdou* et *El Guidimouni*. Une attention particulière doit être accordée à chacune des cinq zones de production qui couvrent toute la diversité des oignons cultivés au Niger, et donc le maintien de celle-ci. Il est donc utile de combiner conservation *in situ* dans ces cinq zones et conservation *ex situ*.

Ces modes *in situ* et *ex situ* de conservation doivent impliquer la caractérisation et l'évaluation de tous les écotypes maintenus dans ces sites. Ces données couvriront notamment les caractéristiques de rendement (poids des bulbes), le taux de matière sèche des bulbes, la précocité de maturité, la conservation, le goût, l'uniformité de forme et couleur des bulbes. Les résultats de ces évaluations permettront de choisir des génotypes parentaux complémentaires entre eux et de lancer ainsi un programme de sélection variétale décentralisée dans les diverses zones de production de l'oignon au Niger.

4.6. Références bibliographiques

1. **Boukary H., Hoaugui A., Barage M., Adam T., Roumba A., & Saadou M.,** 2013. Evaluation agro-morphologique des variétés et/ou écotypes locaux d'oignon du Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6 (6), 3098-3106.
2. **Cathala M., Woin N. & Essang T.,** 2003. L'oignon, une production en plein essor en Afrique sahélo-soudanienne : le cas du Nord-Cameroun. *Cahiers Agricultures*, 12 (4), 261-266.
3. **Currah L.,** 2002. Onions in the Tropics: Cultivars and Country Reports. In : Rabinowitch H.D. and Currah L., eds. *Allium Crop Science : Recent advances*, CABI Publ., Wallingford, Oxon, UK, New York, NY, USA, 379-408.
4. **D'Alessandro S. & Soumah A.,** 2008. *Évaluation sous-régionale de la chaîne de valeurs oignon /échalote en Afrique de l'Ouest*. Bethesda, MD: projet ATP, Abt Associates Inc., 58p.
5. **De Bon H.,** 1987. Développement de l'oignon (*Allium cepa* L.) en zone tropicale. Etude particulière de la variété Violet de Galmi, *Thèse de docteur-ingénieur* Fort-de-France : CIRAD-IRAT, 179 p.
6. **De Lannoy G.,** 2001. Oignon *Allium cepa* L. In : Raemaekers R. H., eds. *Agriculture en Afrique Tropicale*, DGCI, Bruxelles, Belgique, 518-526.
7. **Demarly Y. & Sibi M.,** 1989. Amélioration des plantes et biotechnologies. *John Libbey, Paris*, 151p.
8. **Demol J., Baudoin J.-P., Louant B.-P., Marechal R., Mergeai G. & Otoul E.,** 2002. Amélioration des plantes. Application aux principales espèces cultivées en régions tropicales. Presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, 582 p.
9. **FAOSTAT, 2013.** *Base de données statistiques agricoles FAO*, <http://faostat.fao.org/> 10/05/2013.
10. **Fauquet F. & Morel A.,** 2006. Résilience des communautés rurales face à la crise écologique et foncière du Sahel : L'exemple de la vallée d'Arewa (Niger central), *Cairn* , 217 (1), p. 77-89.
11. **Fritsch R.M. & Friesen N.,** 2002. Evolution, domestication and taxonomy. In : Rabinowitch H.D. & Currah L., eds., *Allium Crop Science: Recent Advances*, CABI Publ., Wallingford, UK, New York, NY, USA, 5-30.

12. **Grandval F.**, 2011. Quelques définitions clés pour aborder ce dossier « semences », *Grain de sel*, 52-53 : 39-40.
13. **IPGRI, ECP/GR, AVRDC**, 2001. *Descriptors for Allium (Allium spp.)*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy; European Cooperative Programme for Crop Genetic Resources Networks (ECP/GR), Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan, 43p.
14. **Jones H. A. & Mann L. K.**, 1963. *Onions and Their Allies*. New York : Interscience Publishers.
15. **Leland R H**, 1987. Manuel pour la sélection du sorgho. (2^e éd.). *Andhra Pradesh*, Inde : ICRISAT.
16. **Mahamane L., Mahamane S & Nonguierma A.**, 2005. Détermination du degré d'aridité bioclimatique de sept localités du département de Tillabéri (sud-ouest du Niger) : classement en zones bioclimatiques, *Sécheresse*, 16 (2) : 107-114.
17. **Malice M., Martin N., Pissard A., Rojas-Beltran J. A., Gandarillas A., Bertin P. & Baudoin J-P.**, 2007. A preliminary study of the genetic diversity of Bolivian oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) varieties maintained *in situ* and *ex situ* through the utilization of ISSR molecular markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54 : 685–690.
18. **Mohammadi S. A. & Prasanna B. M.**, 2003. Analysis of Genetic Diversity in Crop Plants-Salient Statistical Tools and Considerations, *Crop Sciences*, 43 (4), 1235-1248.
19. **Moumouni A. D.**, 2006. Les effets de la réappropriation de la culture du Violet de Galmi par les producteurs d'oignon de la région de Tahoua – NIGER, sur la dynamique du territoire local, l'organisation sociale et économique, *Thèse UNIVERSITE DE TOULOUSE - LE MIRAIL*, 281 p.
20. **Nabos J.**, 1976. L'amélioration de l'oignon (*Allium cepa* L.) au Niger. *Agronomie tropicale*, Vol XXXI, N°4, IRAT Paris, 387- 397.
21. **Silué S., Fondio L., Coulibaly M.Y. & Magein H.**, 2003. Sélection de variétés d'oignon (*Allium cepa* L.) adaptées au nord de la Côte d'Ivoire, *Tropicultura*, 21(3), 129-134.
22. **Ricroch A., Rouamba A. & Sarr A.**, 1996. Valorisation de la production de l'oignon en Afrique de l'Ouest par la gestion dynamique de ses ressources génétiques. *Acta Botanica Gallica* 143 (2/3) : 101-106.
23. **Rouamba A., Ricroch A., Sandmeir M. & Sarr A.**, 1994. Evaluation of genetic resources of onion (*Allium cepa* L.) from west Africa. *Acta Horticultura*, 358, 173-179

- 24. Rouamba A. & Ricroch A.,** 1996. Cartographie des *Allium cepa* L. en Afrique de l'Ouest. *Science et Technologies*, 22, 27-37.

Annexe 2.1. Résultats des analyses de variance à deux facteurs croisés fixes

Modèle linéaire général : HP; NF; LF; DF; PF; PFS; PB; LB et DB en fonction de Ecotypes; Sites

Facteur	Type	Niveaux	Valeurs
Ecotypes	fixe	16	Blanc de Galmi; Blanc de Gotheye; Blanc de Soukougoutan; Blanc de Soumarana; El Agadez; El Gamdou; El Guidimouni; El Nigeria; El Tassaou; Irin Rani; Rouge de Gaya; Violet de Ayorou; Violet de Galmi; Violet de Galmi de Technisem; Violet de Say; Violet de Soumarana
Sites	fixe	2	S1; S2

Analyse de la variance pour HP, avec utilisation de la somme des carrés ajustée pour les tests

Source	DL	SomCar séq	SomCar ajust	CM ajust	F	P
Ecotypes	15	3771,1	3771,1	251,4	1,73	0,045
Sites	1	3270,4	3270,4	3270,4	22,52	0,000
Ecotypes*Sites	15	2348,4	2348,4	156,6	1,08	0,376
Erreur	288	41822,9	41822,9	145,2		
Total	319	51212,9				

S = 12,0507 R carré = 18,34 % R carré (ajust) = 9,54 %

Analyse de la variance pour LF, avec utilisation de la somme des carrés ajustée pour les tests

Source	DL	SomCar séq	SomCar ajust	CM ajust	F	P
Ecotypes	15	2896,35	2896,35	193,09	6,47	0,000
Sites	1	669,90	669,90	669,90	22,46	0,000
Ecotypes*Sites	15	1426,65	1426,65	95,11	3,19	0,000
Erreur	288	8588,90	8588,90	29,82		
Total	319	13581,80				

S = 5,46100 R carré = 36,76 % R carré (ajust) = 29,95 %

Analyse de la variance pour DF, avec utilisation de la somme des carrés ajustée pour les tests

Source	DL	SomCar séq	SomCar ajust	CM ajust	F	P
Ecotypes	15	1643,687	1643,688	109,579	20,72	0,000
Sites	1	221,112	221,113	221,113	41,81	0,000
Ecotypes*Sites	15	365,088	365,088	24,339	4,60	0,000
Erreur	288	1523,000	1523,000	5,288		
Total	319	3752,888				

S = 2,29961 R carré = 59,42 % R carré (ajust) = 55,05 %

Analyse de la variance pour NF, avec utilisation de la somme des carrés ajustée pour les tests

Source	DL	SomCar séq	SomCar ajust	CM ajust	F	P
Ecotypes	15	2431,45	2431,45	162,10	7,82	0,000
Sites	1	2268,45	2268,45	2268,45	109,44	0,000
Ecotypes*Sites	15	1720,45	1720,45	114,70	5,53	0,000
Erreur	288	5969,60	5969,60	20,73		
Total	319	12389,95				

S = 4,55278 R carré = 51,82 % R carré (ajust) = 46,63 %

Analyse de la variance pour PF, avec utilisation de la somme des carrés ajustée pour les tests

Source	DL	SomCar séq	SomCar ajust	CM ajust	F	P
Ecotypes	15	220163	220163	14678	8,05	0,000
Sites	1	100147	100147	100147	54,90	0,000
Ecotypes*Sites	15	75741	75741	5049	2,77	0,001
Erreur	288	525376	525376	1824		
Total	319	921426				

S = 42,7109 R carré = 42,98 % R carré (ajust) = 36,84 %

Analyse de la variance pour PFS, avec utilisation de la somme des carrés ajustée pour les tests

Source	DL	SomCar séq	SomCar ajust	CM ajust	F	P
Ecotypes	15	1059,80	1059,80	70,65	5,96	0,000
Sites	1	105,98	105,98	105,98	8,94	0,003
Ecotypes*Sites	15	218,72	218,72	14,58	1,23	0,248
Erreur	288	3415,57	3415,57	11,86		
Total	319	4800,07				

S = 3,44378 R carré = 28,84 % R carré (ajust) = 21,18 %

Analyse de la variance pour PB, avec utilisation de la somme des carrés ajustée pour les tests

Source	DL	SomCar séq	SomCar ajust	CM ajust	F	P
Ecotypes	15	216839	216839	14456	9,60	0,000
Sites	1	28	28	28	0,02	0,891
Ecotypes*Sites	15	62146	62146	4143	2,75	0,001
Erreur	288	433832	433832	1506		
Total	319	712845				

S = 38,8119 R carré = 39,14 % R carré (ajust) = 32,59 %

Analyse de la variance pour DB, avec utilisation de la somme des carrés ajustée pour les tests

Source	DL	SomCar séq	SomCar ajust	CM ajust	F	P
Ecotypes	15	13683,59	13683,59	912,24	10,82	0,000
Sites	1	2060,45	2060,45	2060,45	24,45	0,000
Ecotypes*Sites	15	2192,85	2192,85	146,19	1,73	0,044
Erreur	288	24274,00	24274,00	84,28		
Total	319	42210,89				

S = 9,18067 R carré = 42,49 % R carré (ajust) = 36,30 %

Analyse de la variance pour LB, avec utilisation de la somme des carrés ajustée pour les tests

Source	DL	SomCar séq	SomCar ajust	CM ajust	F	P
Ecotypes	15	9941,85	9941,85	662,79	7,11	0,000
Sites	1	1151,40	1151,40	1151,40	12,35	0,001
Ecotypes*Sites	15	2273,25	2273,25	151,55	1,63	0,066
Erreur	288	26846,50	26846,50	93,22		
Total	319	40213,00				

S = 9,65490 R carré = 33,24 % R carré (ajust) = 26,05 %

5. Genetic diversity of Niger onions (*Allium cepa* L.) assessed by simple sequence repeat markers (SSR).

ABDOU Rabiou, BAKASSO Yacoubou, SAADOU Mahamane, HARDY Olivier J.,

BAUDOUIN Jean-Pierre.

Article en préparation

Abstract:

Onion is the most important vegetable crop in Niger in terms of crop value. Niger has an enormous potential for production of onions and is also an important exporter. The principle type of grown onion is the pungent landrace *Violet de Galmi*, but farmers cultivate several onion landraces that have a brown, red, violet, white and yellow color in separate production areas. However the organization of genetic variation within and among landraces is poorly characterized. In this study, we analyzed variation among Niger onion landraces using simple sequence repeat (SSR) markers. The mean observed heterozygosity (H_o) within onion landraces from Niger is 0.400, while the expected heterozygosity (H_s) is 0.452. This apparent heterozygosity deficit was however due to the presence of null alleles, rather than to non-random mating within population. Among the 16 onion landraces, within population diversity was greater (90%) than between population diversity (10%). Bayesian clustering analyses fail to detect differentiated genetic clusters, indicating a globally weak level of differentiation. Nevertheless, Principal Coordinate analysis (PCoA) shows that genetic diversity was organized in a way consistent both with morphological traits and geography. Assignment tests also show that most of the onion landraces from Niger are original in terms of genetic composition. Our results highlight which landraces are most original genetically. These landraces deserve particular attention for *ex situ* and *in situ* conservation, which should contribute to the improvement of local onion in Niger.

Keywords : Onion, *Allium cepa* L., Microsatellites, Genetic diversity, Landraces

5.1. Introduction

The *Allium* genus consists of around 780 species, most of them naturally grow in the northern hemisphere (Stearn 1992). It includes many economically important crops such as onions (*A. cepa* L.), shallots (*A. cepa* var. *aggregatum* G. Don., *A. cepa* var. *ascalonicum* Backer), leeks (*A. ampeloprasum* var. *porrum* L.), scallions (*A. ascalonicum* L.), garlic (*A. sativum* L.), chives (*A. schoenoprasum* L.), Japanese bunching onions (*A. fistulosum* L.), rakkyo (*A. chinense* G. Don) and Chinese chives (*A. tuberosum* Rottl. ex Sprengel) (Huxley et al. 1992). *A. cepa* is a member of section *Cepa* (Mill.) Prokh., which includes both cultivated and wild species which are important for the breeding of domesticated *Allium*. *A. cepa* does not exist in the wild and the wild species *A. vavilovii* has been identified as its closest relative (Havey 1992 ; Fritsch et al. 2001). Onion has been valued as a food and medicine since antiquity.

A. cepa species includes three broad horticultural groups distinguished by bulb phenotypes, by dormancy and by photoperiod requirements (Fritsch and Friesen 2002). The first is the common onion group which is the most phenotypically diverse and includes numerous traditional and commercial open-pollinated varieties as well as modern F1 hybrid derivatives. This group is known by various scientific names, including *A. cepa* var. *cepa* L., *A. cepa* var. *typicum* Rgl., *A. cepa* ssp. *cepa* L., *A. cepa* ssp. *austral* Kazakova. They are characterized by large bulbs, generally enclosed by a single skin and by biennial reproduction by seed in appropriate environments. Secondly, the aggregatum group, which includes shallot, is distinguished by predominantly asexual reproduction via smaller, clustered bulbs (Rabinowitch and Kamenetsky 2002). Formal names include *A. cepa* var. *aggregatum* G. Don., *A. cepa* var. *ascalonicum* Backer, *A. cepa* ssp. *orientalis* Kazakova (Fritsch et Friesen 2002). According to Jones and Mann (1963), the third horticultural group of *A. cepa* is the ever-ready group, sometimes known as *Allium cepa* var. *perutile* Stearn. It can be distinguished from the other two groups by its strong vegetative growth and its lack of dormancy, meaning that its bulbs or leaves are available year-round.

Onion is an outcrossing diploid ($2n = 2x = 16$). Populations are maintained through insect cross pollination and may harbor significant phenotypic variation (Berninger, 1965). Several molecular markers have been successfully used to characterize the variation between *Allium* species. However,

development of markers providing useful discrimination power among cultivated *A. cepa* is much more challenging (Klaas and Friesen 2002; Khar et al. 2010), particularly for intraspecific relationships in onion which are still insufficiently resolved. There is to date little published information regarding population structure within and among cultivated onion and shallot, especially with regards to the improved and local varieties (Baldwin et al. 2012). This is in particular critical for areas where onion was introduced because populations may have gone through genetic bottlenecks via founder effects.

Previous population genetic diversity studies in *Allium* used various markers, including the Internal Transcribed Spacer (ITS) regions of ribosomal DNA for phylogenetic reconstruction of the genus (Friesen et al. 2006), isozymes (Cramer and Havey 1999; Rouamba et al. 2001), Randomly Amplified Polymorphic DNA (RAPD) (Bradeen and Havey 1995; Tanikawa et al. 2002), Restriction Fragment-Length Polymorphisms (RFLP) (Havey 1991; Bark and Havey 1995), Simple Sequence Repeats (SSRs) and Single-Nucleotide Polymorphism (SNP's) (Jakše et al. 2005; McCallum et al. 2008; Baldwin et al. 2012) for genetic diversity analyses and quality control of inbred, hybrid, and open-pollinated onion seed lots. For population-level studies, isozymes and RFLP are limited by their low polymorphism (Peffley and Orozco-Castillo 1987), while RAPD and AFLP markers have disadvantages due to difficulties with repeatability and their dominant nature for an outcrossing species like onion (Tanikawa et al. 2002; Williams et al. 1990). Microsatellite markers (SSRs) appear to be the most useful for population-level studies because they are locus-specific, codominant, polymerase chain reaction (PCR)-based, display high reproducibility, and are typically highly polymorphic. For onion, a set of genomic dinucleotide SSR were developed by Fischer and Bachmann (2000), other SSR markers have been developed from onion expressed sequence tag (EST-SSR) and genomic sequence (gSSR) resources (Kuhl et al. 2004; Martin et al. 2005) and proved to be readily reproducible for mapping and cultivar discrimination (Jakše et al. 2005; McCallum et al. 2008).

Onions are traditional crops of inland countries of the Sahel, and are among the most important horticultural crops in West Africa, ranking only after tomato with respect to production volume and trade. Nevertheless, production of this staple food does not cover West Africa's needs except in Niger where onion is the major vegetable crop (Rouamba et al. 2001). Consumers and processors in Niger

use green or salad onions with or without bulbs, as fresh bulbs soon after harvest or as dry bulbs stored for later use when fresh onions are not available. Onions are also destined for processing, either as fresh-cut products, for pickling, for freezing, or for dehydration as flakes and powder (Bosch Serra and Currah 2002).

In this paper, we use Niger as a case study to explore the diversity of local African landraces. Farmers grow local landraces adapted to their agricultural practices, environment and consumption criteria. In Niger quality seeds are rare and expensive. F₁ hybrids onion seeds based on cytoplasmic male sterility are not promoted, but the TECHNISEM seed company markets *Violet de Galmi* seeds across the country. The high cost of seeds encourages farmers to produce their own seed (Currah 2002). However, local landraces are threatened by the increased use of the highly inbred local variety *Violet de Galmi*, which is widely cultivated in the soudano-sahelian zone, and by other genetically uniform varieties, which have a satisfactory yield despite their low bulb-storage ability (Rouamba et al. 1994). In the present study, neutral microsatellite markers were used (i) to estimate the diversity within and among open pollinated varieties and landraces of onion from all regions in Niger; (ii) to analyze the genetic structure among landraces; (iii) to assess the genetic originality of each landrace.

5.2. Materials and Methods

5.2.1. Plant material

Farmers in Niger cultivate at least seventeen onion landraces that are located in five separate production areas (Abdou et al. 2014a). Most of these onion types are the short day (SD) types and local landraces. Nabos (1976) describes how onions from Niger were selected and stabilized. *Violet de Galmi*, *Rouge de Tarna*, *Blanc de Galmi* and *Blanc de Soumarana* were selected by IRAT (*Institut de Recherche Agricole Tropicale*). *Violet de Galmi* is now well known in West Africa and has a good reputation with consumers (Currah 2002). It is characterized by fairly large, pungent, purplish-brown, flattened-globe onion with good storage life under hot dry conditions. The white varieties *Blanc de Galmi* and *Blanc de Soumarana* have been selected for their high dry-matter content (Nabos 1976). According to Rouamba (1997), many local landraces are still maintained in Niger, and most are violet onions, but they include some red, yellow, white, brown and mixed populations which are grown in different production areas. Yellow and brown onions are grown in the *Korama Valleys* area, a landrace with red bulbs color was found only in the *Niger River valley* area, the violet and white landraces are found in all the five onion production areas (**Fig. 1**).

Onions landraces can be different according to their taste (sweeter, pungent and less pungent). Sweet onion *Blanc de Soukougoutan* is produced as a specialty in *Soukougoutan* area, but the pungent violet *Violet de Galmi* is grown throughout the five Niger onion production areas (Abdou et al. 2014a).

The most distinctive qualitative variables between landraces are leaf color, bulb shape and color, uniformity of bulb shape and color. In our previous study based on qualitative morphological characters, the largest phenotypic distance is observed between the most geographically distant landraces (Abdou et al. 2014b).

Plant material for this study consisted of 16 onion accessions collected from farmers at 12 sites, including the *Niger River valley* (western part of Niger), in the *Ader-Doutchi-Maggia* and *Goulbi* valleys (both in the central-western of Niger), in the *Korama valley* (central-east), in the *Lake Chad valley* (eastern) and in the *Irhazer valley* (northern Niger) in 2010 (**Fig. 1**). In most sites, a single landrace was cultivated, but in two sites, two landraces were sampled, meaning that a total of 15 accessions of landraces recognized by Niger farmers were sampled. The samples of onion seeds were

collected in the fields from a single farmer for each landrace. The seeds were produced in a small field by the farmer for these own uses. Thirty umbels were collected from each fields and pooled into one sample. Seeds were extracted manually and stored in freezer at -20°C. We also included the open pollinated commercial variety *Violet de Galmi* produced by the TECHNISEM company (Table1). Seeds utilized for the genetic analysis were taken from the same collection from which samples were taken for the previous study on morphological and agronomic variability of onion landraces identified by Niger producers (Abdou et al. 2014b).

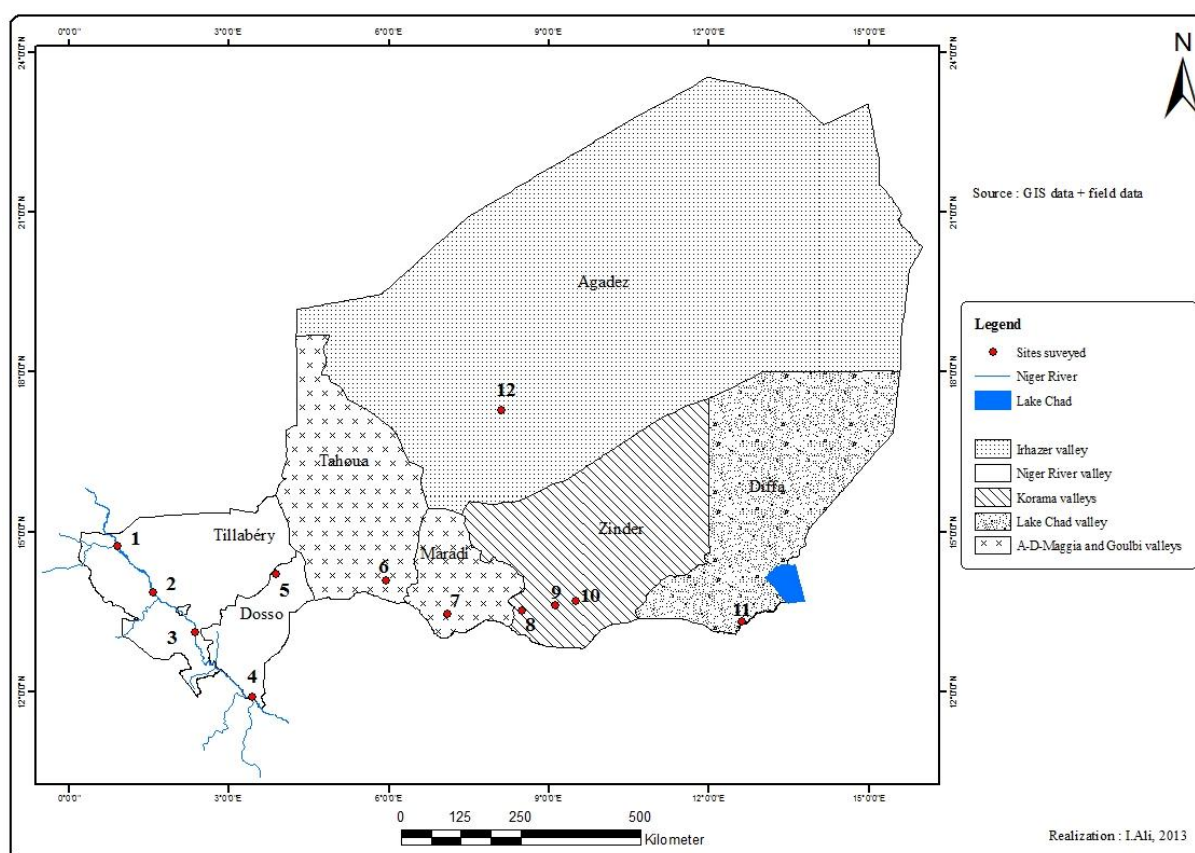


Figure 1: Location of onion seeds collecting sites

1 : Ayorou, **2 :** Gotheye, **3 :** Say, **4 :** Gaya, **5 :** Soukoukoutan (*Sites from Niger River valley*);

6 : Madaoua, **7 :** Maradi (*Sites from Ader-Doutchi-Maggia and Goulbi Valleys*);

8 : Tassaou, **9 :** Gamdou, **10 :** Guidimouni (*Sites from Korama Valleys*);

11 : Diffa (*Site from Lake Chad Valley*);

12 : Agadez (*Site from Irhazer Valley*)

Table 1 List of onion landraces sampled in Niger with their characteristics

Landraces	Symbol	Longitude (°E)	Latitude (°N)	Characteristics given by the producers	N and Production area
1. <i>Violet d'Ayorou</i>	VAy	0.919543	14.73000	Dark violet and flat globe bulbs	1. <i>Niger River valley</i>
2. <i>Blanc de Gotheye</i>	BGt	1.568447	13.85876	Very early variety, white and small bulbs	2. <i>Niger River valley</i>
3. <i>Violet de Say</i>	VSy	2.177210	13.38381	Early variety, violet and elongated bulbs	3. <i>Niger River valley</i>
4. <i>Rouge de Gaya</i>	RGy	3.448040	11.88426	Red and globe bulbs	4. <i>Niger River valley</i>
5. <i>Blanc de Soukhoukoutan</i>	BSk	3.885299	14.19044	Late variety , white and big bulbs	5. <i>Niger River valley</i>
6. <i>Violet de Galmi</i>	VGl	5.675682	13.96691	Early variety, violet bulbs and stored well	6. <i>Ader Doutchi Maggia and Goulbi Valleys</i>
7. <i>Blanc de Galmi</i>	BGl	5.675682	13.96691	Early variety, white bulbs	6. <i>Ader Doutchi Maggia and Goulbi Valleys</i>
8. <i>El Nigeria</i>	ENg	5,137901	13,407500	Dark violet bulbs and shall not store well	6. <i>Ader Doutchi Maggia and Goulbi Valleys</i>
9. <i>Blanc de Soumarana</i>	BSm	7.113909	13.44949	White bulbs with 2-3 hearts	7. <i>Ader Doutchi Maggia and Goulbi Valleys</i>
10. <i>Violet de Soumarana</i>	VSm	7.113909	13.44949	Violet bulbs with 2-3 hearts	7. <i>Ader Doutchi Maggia and Goulbi Valleys</i>
11. <i>El Tassaou</i>	ETs	8.483426	13.50093	White color and conical shape of bulbs	8. <i>Korama Valleys</i>
12. <i>El Gamdou</i>	EGm	9.112533	13.61295	Brown color and conical shape of bulbs	9. <i>Korama Valleys</i>
13. <i>El Guidimouni</i>	EGu	9.513376	13.69139	Late variety, yellow and big bulbs	10. <i>Korama Valleys</i>
14. <i>Irin Rani</i>	IRn	12.61224	13.31769	Dark violet and globe bulbs	11. <i>Lake Chad Valley</i>
15. <i>El Agadez</i>	EAz	8.102301	17.26782	Dark violet and intermediate caliber bulbs	12. <i>Irhazer Valley</i>
16. <i>Violet de Galmi*</i>	VTc			Early variety, Dark violet bulbs	

*Violet de Galmi**: Seeds produced and stored by Technisem, **N**: Number of collecting site according to **Fig. 1**

5.2.2. Genomic DNA isolation

Seeds were sown directly into organic substrates in greenhouses. For each of the 16 accessions, 15 plants were chosen randomly for DNA extraction, making up a total of 240 samples. DNA of fresh young leaves (100mg per plant) from 30–45 day old seedlings was extracted using the DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN, Venlo, the Netherlands). Hereafter we will use the term landrace to refer to one of the 16 accessions.

5.2.3. Genetic marker analysis

Three genomic microsatellite loci (Fischer and Bachmann 2000) and fourteen EST-derived microsatellite loci (Kuhl et al. 2004; Jakše et al. 2005; Martin et al. 2005; McCallum et al. 2008; Tsukazaki et al. 2008) were screened to estimate their ability to reveal polymorphism in ten individuals from different landraces from Niger. The table in annex 1 details the microsatellite markers that we used. Six loci (ACM045, ACM091, ACM132, ACM229, ACM251, ACM138) consistently amplified in PCR and were therefore selected for genotyping using the Multiplex PCR kit (QIAGEN, Inc) following the manufacturer's protocol. PCR conditions were performed according to Khar et al. (2010); however the forward primer of each locus was labeled with a fluorescent dye (6-FAM, NED, PET or VIC), and amplifications were performed in two PCR multiplexes (*Annex 1*). PCR products were loaded on a capillary DNA sequencer (ABI3100; Applied Biosystems) and each genotype was analyzed by GeneMapper software version 3.0 (Applied Biosystems).

5.2.4. Genotyping and statistical analysis

The allelic data obtained from GeneMapper were used for estimating diversity parameters with GenAlEx 6.2 software (Peakall and Smouse 2006) including the number of alleles (N_a), observed heterozygosity (H_o), expected heterozygosity (H_e) and the genetic diversity within landraces (H_s). The parameters were averaged over loci and/or landraces. Wright's F-statistics and the Analysis of Molecular Variance (AMOVA) were applied by using GenAlEx 6.2 software to characterize population genetic structure. The software INest (Chybicki and Burczyk 2009) was used to detect null alleles and estimate a corrected inbreeding coefficient accounting for null alleles for each landrace. Differentiation between pairs of landraces was estimated using F_{ST} and tested with FSTAT 2.9.3.2.

(Goudet, 2001). Pairwise genetic distances were also calculated from allele frequencies of each locus according to Nei (1972), and used in a Principal Coordinate Analysis (PCoA) to visualize the genetic relationships among landraces using GenAlex 6. Finally, to assess the power of the SSR markers used to discriminate among landraces, GENECLASS2 software (Piry *et al.* 2004) was used to assign or exclude individuals as well as groups of individuals to reference landraces.

5.3. Results

5.3.1. Genetic diversity within landraces

Tables 2 and 3 show the allelic number, the observed heterozygosity (H_o), the expected heterozygosity (H_e), and F-statistics for each landrace (Table 2) and each microsatellite marker (Table 3).

Table 2 Allelic number, Heterozygosity and F-statistics per Landrace

Landrace	Number of alleles				Heterozygosity and inbreeding coefficients						
	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Average</i>	<i>SE</i>	<i>Ho</i>	<i>SE</i>	<i>He</i>	<i>SE</i>	<i>F</i>	<i>SE</i>	<i>F'</i>
<i>BGt</i>	1	4	2.33	0.42	0.30	0.10	0.35	0.10	0.12	0.14	0.00
<i>BSk</i>	3	4	3.33	0.21	0.36	0.07	0.45	0.07	0.19	0.09	0.00
<i>RGy</i>	2	3	2.67	0.21	0.34	0.08	0.38	0.07	0.07	0.10	0.00
<i>VAy</i>	2	4	2.83	0.31	0.38	0.09	0.41	0.08	0.01	0.16	0.00
<i>VGl</i>	2	4	3.00	0.26	0.33	0.04	0.46	0.05	0.24	0.09	0.00
<i>VSy</i>	2	3	2.67	0.21	0.37	0.07	0.43	0.05	0.19	0.1	0.00
<i>VTc</i>	2	5	3.17	0.4	0.58	0.13	0.52	0.07	-0.1	0.17	0.00
<i>BGl</i>	2	4	2.83	0.31	0.35	0.07	0.47	0.09	0.17	0.14	0.00
<i>BSm</i>	2	5	3.33	0.42	0.46	0.10	0.48	0.08	0.02	0.13	0.00
<i>EGm</i>	2	5	3.00	0.45	0.42	0.09	0.49	0.09	0.13	0.07	0.00
<i>EGu</i>	2	3	2.67	0.21	0.44	0.09	0.56	0.03	0.23	0.12	0.00
<i>ENg</i>	2	3	2.50	0.22	0.35	0.05	0.44	0.06	0.16	0.12	0.00
<i>VSm</i>	2	5	3.17	0.40	0.46	0.10	0.46	0.07	-0.02	0.10	0.00
<i>EAz</i>	2	4	3.17	0.31	0.39	0.11	0.46	0.08	0.14	0.15	0.00
<i>ETs</i>	2	3	2.50	0.22	0.42	0.08	0.45	0.07	0.10	0.13	0.00
<i>IRn</i>	2	5	2.67	0.49	0.45	0.04	0.43	0.06	-0.07	0.11	0.00

H_o and H_e are observed and expected heterozygosity; *Min*, *Max* and *SE* are the minimum value, maximum value and standard error over loci, respectively; *F*: Inbreeding coefficient (Fixation Index), *F'*: Inbreeding coefficient after accounting for the presence of null alleles. See **Table 1** for landraces codes.

The number of alleles per locus for each landrace ranged from one to five, with an average of 2.33 (*Blanc de Gotheye*) to 3.33 (*Blanc de Soukhoukoutan*) per landrace, and 2.06 (ACM229) to 3.68 (ACM132) per locus. The table in annex 2 indicates an analysis of variance (ANOVA) with two factors (landrace and locus). This analysis shows that the difference was highly significant among loci ($P < 0.001$), but there was no difference among landraces. The mean values of observed heterozygosity (H_o) per landrace ranged from 0.30 in *Blanc de Gotheye* landrace to 0.58 in the open pollinated variety *Violet de Galmi** from the TECHNISEM company. The expected heterozygosity (H_e) ranged from 0.35 in *Blanc de Gotheye* to 0.56 in *El Guidimouni* (Table 2). Almost all landraces had positive and close to zero Fixation Index (F) values, indicating moderate heterozygote deficits. However, inbreeding coefficients (F_{IS}) calculated with the INest software were zero for the all landraces (Table 2). Hence, the moderate heterozygote deficits resulted from null alleles. Consistently, mean F values per locus were usually close to zero except for locus ACM251 ($F = 0.304$) which is probably the main locus displaying null alleles. Tables in annex 3 and 4 detail F -Statistic over all landraces for each locus and F -Statistic over all loci and landraces.

Table 3 Allelic number, heterozygosity and inbreeding coefficient (Fixation index) per locus (mean values over 16 landraces).

		ACM045	ACM091	ACM132	ACM229	ACM251	ACM138	Mean
Na	Mean	3.125	2.625	3.688	2.063	2.75	2.938	2.865
	SE	0.125	0.125	0.27	0.063	0.171	0.143	0.082
Ho	Mean	0.542	0.375	0.481	0.204	0.315	0.482	0.400
	SE	0.04	0.038	0.057	0.031	0.035	0.046	0.021
He	Mean	0.513	0.434	0.554	0.217	0.466	0.532	0.452
	SE	0.022	0.034	0.037	0.031	0.043	0.021	0.017
F	Mean	-0.057	0.095	0.144	0.025	0.304	0.088	0.098
	SE	0.057	0.076	0.071	0.071	0.052	0.081	0.03

Na: Allelic number, **H_o** and **H_e** are observed and expected heterozygosity, **SE:** Standard error, **F :** Fixation Index,

5.3.2. Genetic structure among landraces

The AMOVA shows that the differentiation among studied onion landraces was significant, although it explains only 14% of the genetic variance. Hence, the genetic variation within landraces corresponds to 86% of the total genetic variation (Table 4).

Table 4 Molecular Analysis of Variances (AMOVA) among and within landraces

Source	DF	SS	MS	Est. Var.	%	PhiPT	P-value
Among landraces	15	167.227	11.148	0.566	14%	0.145	0.010
Within landraces	205	685.049	3.342	3.342	86%		
Total	220	852.276		3.907	100%		

DF: Degrees of freedom, **SS:** Sum of squares, **MS:** mean square, **Est. Var.:** Estimation of variance, **P:** Probability

In Table 5, we showed pairwise genetic differentiation estimated with F_{ST} values and test of significance between Niger onion landraces. Pairwise F_{ST} values between landraces show that highest differentiation occurs, on one hand, between the landraces of extreme East (in the *Niger River* valley represented by a square symbol in **Fig. 2**) and those of extreme West of the country (in the *Korama* and *Lake Chad* valleys represented by a triangle symbol in **Fig. 2**), and on the other hand, between the landraces presenting different morphologic characters. Onion landraces, including the most geographically distant, with similar morphological characters have genetic distance values close to zero (e.g. VGl, VSm, VSy and VTc). This indicates that these landraces are not different based on genetic characters. Geographically close landraces with different morphological characters were different (e.g. BGt and VAy from *Niger River* valley, EGm and ETs from *Korama* valley Table 5).

Table 5: Pairwise genetic differentiation estimated with F_{ST} . Values and test of significance between Niger onion landraces with FSTAT software

Niger River valley						Ader-Doutchi-Maggia and Goulbi Valleys						Korama Valleys			Irhazer V.	Lake Chad V.
<i>BGt</i> <i>wh</i>	<i>BSt</i> <i>wh</i>	<i>RGy</i> <i>rd</i>	<i>VAy</i> <i>vt</i>	<i>VSy</i> <i>vt</i>		<i>VGl</i> <i>vt</i>	<i>VTc</i> <i>vt</i>	<i>BGl</i> <i>wh</i>	<i>BSt</i> <i>wh</i>	<i>VSt</i> <i>vt</i>	<i>ENg</i> <i>vt</i>	<i>EGm</i> <i>br</i>	<i>EGu</i> <i>yl</i>	<i>ETs</i> <i>wh</i>	<i>EAz</i> <i>vt</i>	<i>IRn</i> <i>vt</i>
<i>BGt</i>	0	0.066*	0.074*	0.093*	0.066*	0.069*	0.067*	0.119*	0.037NS	0.053*	0.058*	0.087*	0.127*	0.163*	0.047*	0.156*
<i>BSt</i>		0	0.101*	0.099*	0.100*	0.062NS	0.073*	0.119*	0.058NS	0.065NS	0.084*	0.121*	0.088*	0.134*	0.057NS	0.175*
<i>RGy</i>			0	0.094*	0.045NS	0.035NS	0.055NS	0.074*	0.047NS	0.061*	0.042NS	0.055*	0.108*	0.18*	0.052NS	0.084NS
<i>VAy</i>				0	0.057*	0.062NS	0.051NS	0.028NS	0.035NS	0.038NS	0.045NS	0.049*	0.109*	0.157*	0.069NS	0.11*
<i>VSy</i>					0	0.057NS	0.025NS	0.039NS	0.026NS	0.024NS	0.015NS	0.018NS	0.099*	0.14*	0.042NS	0.052NS
<i>VGl</i>						0	0.037NS	0.069NS	0.026NS	0.043NS	0.032NS	0.07*	0.078*	0.113*	0.025NS	0.09*
<i>VTc</i>							0	0.05NS	0.02NS	0.026NS	0.032NS	0.024NS	0.051*	0.073*	0.019NS	0.074NS
<i>BGl</i>								0	0.044NS	0.044NS	0.033NS	0.023NS	0.095*	0.167*	0.082*	0.071NS
<i>BSt</i>									0	0.012NS	0.013NS	0.032NS	0.077*	0.112*	0.021NS	0.087NS
<i>VSt</i>										0	0.015NS	0.035NS	0.081*	0.107*	0.034NS	0.067NS
<i>ENg</i>											0	0.029NS	0.099*	0.136*	0.035NS	0.056NS
<i>EGm</i>												0	0.076*	0.13*	0.054NS	0.062NS
<i>EGu</i>													0	0.068NS	0.074*	0.11*
<i>ETs</i>														0	0.083*	0.139*
<i>EAz</i>															0	0.107*
<i>IRn</i>																0

NS: Non significant, *: Significant differentiation.

Bulbs colors: *wh*: white, *rd*: red, *vt*: violet, *br*: brown, *yl*: yellow.See **Table 1** for landraces' codes.

The PCoA of the 16 onion landraces shows that the first three axes accounted respectively for 33%, 27% and 15% of the total variation, explaining altogether 75% of the variation. An ordination on PCoA axes 1 and 2 (**Fig. 2a**) shows that five landraces (*Blanc de Gotheye*, *Blanc de Soukhoukoutan*, *El Guidimouni*, *El Tassaou*, *Irin Rani*) are clearly separated from the onion group located at the center of the two axes. The latter group is essentially constituted by violet colored landraces, including *Violet de Galmi*. Therefore, it can be deduced that this group is composed of *Violet de Galmi* and other Niger onion landraces close to *Violet de Galmi*, in relation to agromorphological characters. An ordination on PCoA axes 2 and 3 (**Fig. 2b**) shows that landraces from the eastern part of the country are located on the positive side of the Axis 2, while onion landraces from the western part of the country are located on the negative side of the same axis (**Fig. 2b**). Thus, axis 2 explains spatial variations. It also appears that *Violet de Galmi* and onion landraces close to it in relation to agromorphological characters constitute a group of violet onions, excluding however the landraces *Rouge de Gaya* and *Violet d'Ayorou*, both from the western part of the country.

Mantel test indicates a complete absence of correlation between the morphologic distance and the genetic distance obtained from the SSR molecular markers. But a marginal significant correlation ($p=0.07$) could be noticed between the genetic distance (F_{ST}) and the geographic distance, that may reflect an isolation effect by the distance.

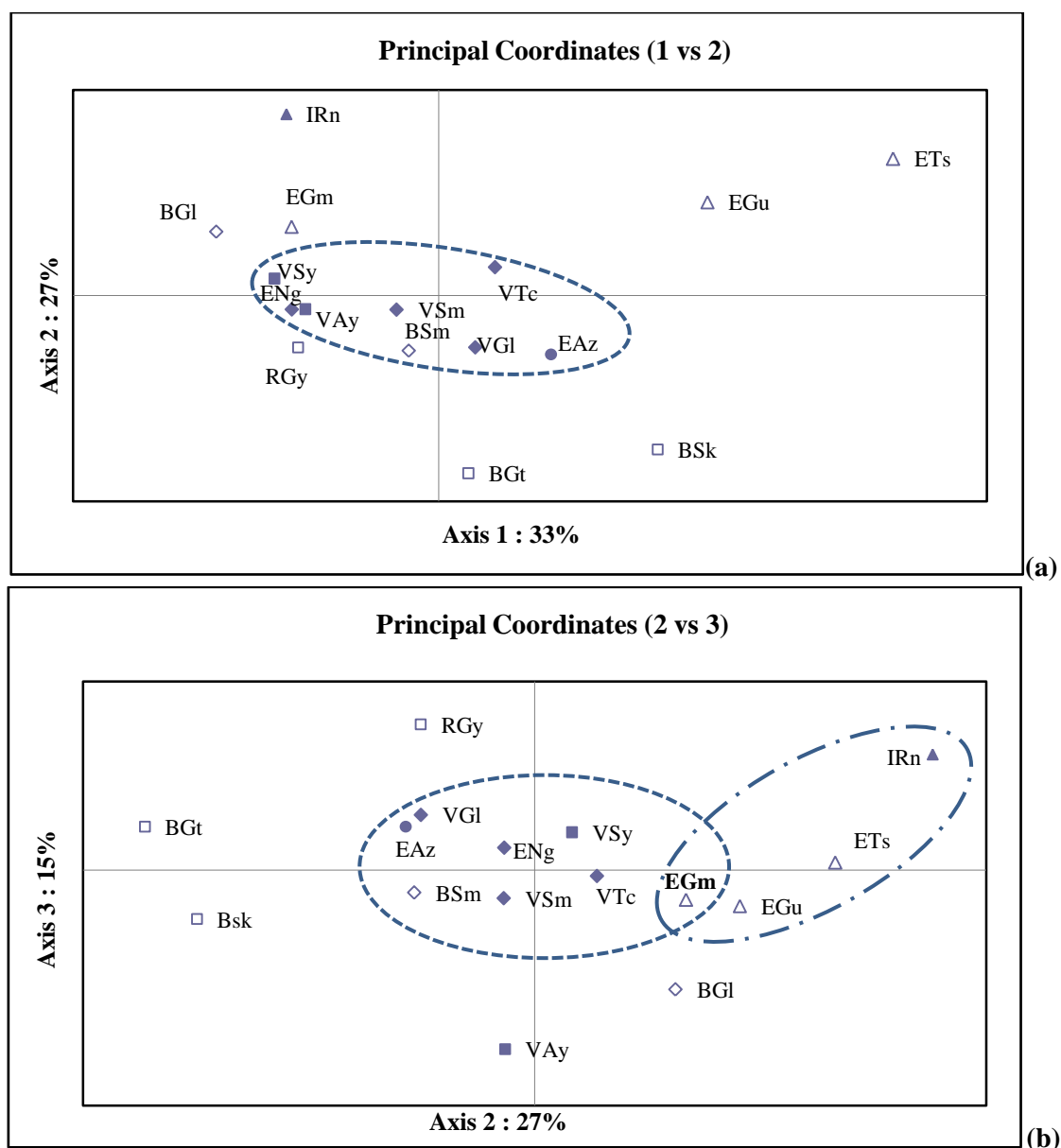


Figure 2: Principal Coordinates Analysis of Niger onion landraces genotypes based on Nei genetic distance derived from SSR marker data, based on (a) PCoA axis 1 vs axis 2, (b) PCoA axis 2 vs axis 3. See **Table 1** for landraces codes.

----- Group of landraces close to *Violet de Galmi* in relation to agromorphological characters
 - · - · - Group of landraces from *Korama* and *Lake Chad Valley*; □ Landraces from *Niger River valley*; ◇ Landraces from *Ader-Doutchi-Maggia* and *Goulbi Valleys*; ○ Landraces from *Irhazer Valley*; △ Landraces from *Korama* and *Lake Chad Valley*.

Filled symbols: landraces with violet bulbs and **Open symbols:** landraces with other bulb colors

5.3.3. Assignment test

Table 6 shows that the proportion of individuals assigned to their original landrace was over 60% for seven of the 16 landraces. This indicates which landraces are original in terms of genetic composition: BGt, BSk, EGu, ETs, IRn, RGy and VAy. Landraces which showed low degrees of correct assignment (lesser than 60%) are *Violet de Galmi* and other Niger onion landraces (EAz, EGm, ENg, VSm, VSy, VTc) close to *Violet de Galmi* with respect to agromorphological characters. The genetic distance between these landraces was very low, supporting results from the pairwise genetic analysis estimated with F_{ST} values.

Table 6: Summary of Population Assignment Outcomes to 'Self' or 'Other' Population

	N Self Pop	N Other Pop	% Self Pop
BGt	14	1	93
BSk	11	4	73
RGy	9	6	60
VAy	9	5	64
VGl	5	10	33
VSy	6	9	40
VTc	5	10	33
BGl	7	7	50
BSm	3	11	21
EGm	6	8	43
EGu	9	4	69
ENg	6	8	43
VSm	2	12	14
EAz	5	9	36
ETs	7	3	70
IRn	6	4	60

N: number. See **Table 1** for landraces' codes..

5.4. Discussion

In this study, we investigated DNA polymorphisms within and among Niger onion landraces based on microsatellite markers. The best markers that were used for population diversity analysis are EST-SSR (Baldwin et al. 2012). Within landraces, the number of alleles per locus at each microsatellite ranged from 1 to 5, with an average ranging from 2.06 to 3.68 per locus. The six microsatellite markers that we used in this study were also used by McCallum et al. (2008), in a study of 89 inbred and open-pollinated onion bulb populations of wide geographical range and four related *Allium* L. species. McCallum et al. (2008) reported higher allelic numbers (range, 1 to 10) than we observed, a difference that could be explained by the additional species included in their study.

Over all Niger onion landraces, the allelic numbers ranged from 3 to 5 (average of 4 per locus). In contrast, these numbers for the same microsatellite markers, are less than the allelic numbers (range, 3 to 11 and an average was 6) according McCallum et al. (2008) study on 82 bulb onion including long-day (LD) and intermediate-day (ID) types from temperate growing regions, and short-day (SD) from tropical regions. The allelic numbers per locus over all Niger onion landraces are relatively small for microsatellite markers that can often display more than 10 alleles in wild populations of outbreeding species thanks to their high mutation rate (Baldwin et al., 2012; McCallum et al., 2008). This suggests that onion landraces have undergone substantial genetic drift.

Assessment of within and among Niger onion landraces diversities revealed that observed heterozygosities (H_o) were lower than expected heterozygosities (H_e) for most landraces, leading to positive average Fixation index (F). However, after accounting for the presence of null alleles using INest software, inbreeding coefficients (F_{IS}) were zero for all landraces (Table 2). Each sampled landrace thus behaves as a panmictic unit, indicating that selfing should be rare or absent. Similar results with Indian onions were reported by Baldwin et al. (2012).

The genetic variation within landraces (84%) was much higher than variation among landraces (16%). Tsukazaki et al. (2010) showed that in *Allium fistulosum*, variability within varieties (77%) was also higher than variability among varieties (23%). Similar results were found by Rouamba et al. (2001)

who, using allozymes, analyzed variation within and among populations of 16 onion populations from West Africa and showed that within population diversity was greater (90%) than between population diversity (10%). These results are coherent with the fact that onion is an outcrossing species. Pollen flow should occur among cultivated fields, ensuring some gene flow among landraces in regions where several landraces are cultivated.

Pairwise genetic differentiation between onion landraces shows moderate F_{ST} values (0.012 to 0.180). We found high F_{ST} values between landraces at the extreme east and at the extreme west of Niger, indicating a lower genetic differentiation of landraces from the same production area. Such lower F_{ST} values could be explained by gene flow. Investigations conducted in Niger, in order to identify onion landraces from this country based on the perception of producers (Abdou et al., 2013a), show that *Violet de Galmi* is always cultivated beside local landraces. Therefore *Violet de Galmi* seeds can be mixed with local landraces seeds, and there can be pollen exchange between local landraces and *Violet de Galmi* during seed production.

Based on PCoA, *Violet de Galmi* and other Niger onion landraces morphologically close to *Violet de Galmi* are genetically grouped together. In accordance with pairwise F_{ST} results, landraces from the eastern part of the country are located in the same group, separated from the western landraces (Fig. 2b). Hence, our results suggest that landraces are firstly genetically grouped by morphological affinities and secondary by geographical locations. Genetic diversity structure based on geographical and morphological variation was also observed in our previous studies on the evaluation of morphological and agronomic variability of onion landraces identified by Niger producers (Abdou, 2014b). Khar et al. (2010) revealed groupings based on geographical origins in Indian onion, whereas McCallum et al. (2008) also observed clear groups based on day-length sensitivity in onion from India, Europe and America.

Assignment tests of individuals to their original landrace show that the percentage of correct assignments was relatively low for Niger onion. This low value was mainly due to the high level of mis-assignment in several landraces, in particular *Violet de Galmi* and landraces close to *Violet de Galmi* according to morphological characters: VSy, VSm, VTc, EAz, ENg (Abdou, 2014b). A similar high degree of uncorrected assignment rate was obtained by Tsukazaki et al. (2010) between Japan

bunching onion varieties which show low genetic distance. By contrast, several other landraces (in particular BGt, BSk, EGu, ETs, IRn, RGy, VAy) displayed relatively high rates of correct assignment and are thus genetically original. These landraces should thus be considered as important genetic resources for breeding programs of onions so that their conservation should merit particular attention.

5.5. Conclusion

In Niger, onion is the major vegetable crop, whereas genetic resources of onion landraces are poorly characterized. This study provides useful information on microsatellites markers variability which leads to a better understanding of Niger onion landraces genetic structure and variability. Our study revealed genetic differentiation between most of Niger onion landraces, except between a group of landraces closely related to the widely cultivated *Violet de Galmi*. These results may be explained by a common recent origin of these landraces and/or by substantial gene flow between *Violet de Galmi* and the other landraces. Therefore, conservation management should focus on the conservation of all landraces which are original in terms of genetic composition because one of those landraces can contain the most important traits for onion selection and improvement. This study also indicates that genetic diversity is organized in accordance to both morphological differentiation and geographical distance. A better understanding of the available genetic variation in all onion landraces would lead to qualitative and quantitative improvements in seed and production. It will be useful to investigate the correspondence between classifications based on simple sequence repeat (SSR) markers and on morphological traits.

5.6. References

- Abdou R., Malice M., Bakasso Y., Saadou M., Baudoin J.P.,** 2014a. Taxonomie locale et analyse des critères des paysans pour caractériser les différents écotypes d'oignon (*Allium cepa* L.) du Niger. *Cah. Agric.* 23 : 166-176. doi : 10.1684/agr.2014.0700.
- Abdou R., Malice M., Bakasso Y., Saadou M., Baudoin J.P.,** 2014b. Variabilité morphologique et agronomique des écotypes d'oignon (*Allium cepa* L.) identifiés par les producteurs du Niger. *Tropicultura (In press)*.
- Baldwin S., Pither-Joyce M., Wright K., Wright K., Chen L. & McCallum J.,** 2012. Development of robust genomic simple sequence repeat markers for estimation of genetic diversity within and among bulb onion (*Allium cepa* L.) populations. *Mol. Breeding*, (doi:10.1007/s11032-012-9727-6).
- Bark O.H. & Havey M.J.,** 1995. Similarities and relationships among populations of the bulb onion as estimated by nuclear RFLPs. *Theor. Appl. Genet.*, 90: 407-414.
- Berninger E.,** 1965. Contribution à l'étude de la stérilité mâle de l'oignon (*Allium cepa* L.). *Ann. Amélior. Plant.*, 15, 183-199.
- Bennett M.D., Smith J.B.,** 1991. Nuclear DNA amounts in angiosperms. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences* 334: 309–345.
- Bosch Serra A.D. & Currah L.,** 2002. Agronomy of onions, *In*: Rabinowitch H.D. and Currah L., eds., *Allium Crop Science : Recent advances*, CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK, New York, USA, 187-232.
- Bradeen J.M. & Havey M.J.,** 1995. Randomly amplified polymorphic DNA in bulb onion and its use to assess inbred integrity. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 120: 752–758.
- Chybicki I. J. & Burczyk J.,** 2009. Simultaneous estimation of null alleles and inbreeding coefficients. *Journal of Heredity*, 100 (1) : 106-113.
- Cramer C.S. & Havey M.J.,** 1999. Morphological, biochemical, and molecular markers in onion. *Hort. Science*, 34: 589-593.
- Currah L.,** 2002. Onions in the Tropics: Cultivars and Country Reports. *In* : Rabinowitch H.D. and Currah L., eds. *Allium Crop Science : Recent advances*, Wallingford, Oxon, UK: CABI Publishing, New York, USA, 379-408.

- Fischer D. & Bachmann K.,** 2000. Onion microsatellites for germplasm analysis and their use in assessing intra- and interspecific relatedness within the subgenus *Rhizirideum*. *Theor. Appl. Genet.*, 101: 153-164.
- Friesen N., Fritsch R.M. & Blattner F.R.,** 2006. Phylogeny and new intrageneric classification of *Allium* L. (Alliaceae) based on nuclear ribosomal DNA ITS sequences. *Aliso.*, 22: 372-395.
- Fritsch R.M. & Friesen N.,** 2002. Evolution, domestication and taxonomy. In : Rabinowitch H.D. and Currah L., eds., *Allium Crop Science : Recent advances*, Wallingford, Oxon, UK: CABI Publishing, New York, USA, 5-30.
- Fritsch R.M., Matin F. & Klaas M.,** 2001. *Allium vavilovii* M. Popov et Vved. and a new Iranian species are the closest among the known relatives of the common onion *A. cepa* L. (Alliaceae). *Genet. Resour. Crop. Evol.*, 48: 401-408.
- Goudet J.,** 2001. FSTAT, a program to estimate and test gene diversities and fixation indices (version 2.9.3.2) 485-486.
- Havey M. J.,** 1991. Phylogenetic relationships among cultivated *Allium* species from restriction enzyme analysis of the chloroplast genome. *Theor. Appl. Genet.*, 81: 752-757.
- Havey M. J.,** 1992. Restriction enzyme analysis of the chloroplast and nuclear 45s ribosomal DNA of *Allium* sections *Cepa* and *Phyllodolon* (Alliaceae). *Plant Syst Evol* 183: 17-31.
- Huxley A.J., Griffiths M., Levy M.,** 1992. The New Royal Horticultural Society Dictionary of Gardening Macmillan, London p3000.
- Jakše J., Martin W., McCallum J. & Havey M.J.,** 2005. Single nucleotide polymorphisms, indels, and simple sequence repeats for onion cultivar identification. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 130: 912-917.
- Jones HA & Mann L.K.,** 1963. Onions and their allies. Botany, cultivation and utilization. *Interscience*, New York, 286 pp
- Khar A., Lawande K. E., Negi K. S.,** 2010. Microsatellite marker based analysis of genetic diversity in short day tropical Indian onion and cross amplification in related *Allium* spp. *Genet. Resour. Crop. Evol.*, 58 (5): 741-754.

- Klaas M. & Friesen N.**, 2002. Molecular markers in Allium, Allium crop science. *In*: Rabinowitch H.D. and Currah L., eds. *Allium Crop Science : Recent advances*, Wallingford, Oxon, UK: CABI Publishing, New York, USA, 159-186.
- Kuhl J.C., Cheung F., Yuan Q., Martin W., Zewdie Y., McCallum J., Catanach A., Rutherford P., Sink K.C., Jenderek M., Prince J.P., Town C.D., and Havey M.J.**, 2004. A unique set of 11,008 onion expressed sequence tags reveals expressed sequence and genomic differences between the monocot orders asparagales and poales. *Plant Cell*, 16: 114-125.
- Martin W., McCallum J., Shigyo M., Jakše J., Kuhl J., Yamane N., Pither-Joyce M., Gokce A., Sink K., Town C., & Havey M.**, 2005. Genetic mapping of expressed sequences in onion and in silicocomparisons with rice show scant colinearity. *Mol. Genet. Genomics*, 274: 197-204.
- McCallum J., Thomson S., Pither-Joyce M., Kenel F., Clarke A. & Havey M. J.**, 2008. Genetic diversity analysis and single-nucleotide polymorphism marker development in cultivated bulb onion based on expressed sequence tag-simple sequence repeat markers, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 133(6): 810-818.
- Nabos J.**, 1976. L'amélioration de l'oignon (*Allium cepa* L.) au Niger. *Agronomie tropicale*, Vol XXXI, N°4, IRAT Paris, 387- 397.
- Nei M.**, 1972. Genetic distance between populations. *American naturalist*, 283-292.
- Peakall R. & Smouse P.E.**, 2006. GENEALEX 6: genetic analysis in excel. Population genetic software for teaching and research. *Mol. Ecol. Notes* 6: 288–295
- Peffley E.B. & Orozco-Castillo C.**, 1987. Polymorphism of isozymes within plant introductions of *A. cepa* L. and *A.fistulosum* L. *Hort.Science*, 22: 956-957.
- Piry S., Alapetite A., Cornuet J. M., Paetkau D., Baudouin L. & Estoup A.**, 2004. GENECLASS2: a software for genetic assignment and first-generation migrant detection. *Journal of heredity*, 95(6) : 536-539.
- Rabinowitch H.D. & Kamenetsky R.**, 2002. Shallot (*Allium cepa*, Aggregatum Group). *In*: Rabinowitch H.D. and Currah L., eds., *Allium Crop Science : Recent advances*, CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK, New York, USA, 409-430.

- Rouamba A., Ricroch A., Sandmeir M. & Sarr A.,** 1994. Evaluation of genetic resources of onion (*Allium cepa* L.) from west Africa. *Acta Horticultura*, 358, 173-179
- Rouamba A, Sarr A & Ricroch A,** 1997. Dynamic management of genetic resource of *Allium cepa* L. (Onion) in west Africa, *Acta Hort.* 433 : 185-189
- Rouamba A., Sandmeier M., Sarr A. & Ricroch A.,** 2001. Allozyme variation within and among populations of onion (*Allium cepa* L.) from West Africa. *Theor. Appl. Genet.*, 103: 855-861.
- Stearn W.T.,** 1992. How many species of *Allium* are known? *Kew Mag.*, 9: 180–182.
- Tanikawa T., Takagi M. & Ichii M.,** 2002. Cultivar Identification and Genetic Diversity in Onion (*Allium cepa* L.) as Evaluated by Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) Analysis. *Engei. Gakkai. Zasshi.*, 71(2): 249-251.
- Tsukazaki H., Yamashita K., Yaguchi S., Masuzaki S., Fukuoka H., Yonemaru J., Kanamori H., Kono I., Hang T.T.H., Shigyo M. et al.,** 2008. Construction of SSR-based chromosome map in bunching onion (*Allium fistulosum*). *Theor. Appl. Genet.* 117: 1213–1223.
- Tsukazaki H., Honjo M., Yamashita K. I., Ohara T., Kojima A., Ohsawa R., & Wako T.,** 2010. Classification and identification of bunching onion (*Allium fistulosum*) varieties based on SSR markers. *Breeding science*, 60(2) : 139-152.
- Weir B.S.,** 1996. Genetic data analysis II. *Sinauer Associates*, Sunderland, Massachusetts.
- Wilkie S.E., Isaac P.G. & Slater R.J.,** 1993. Random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers for genetic analysis in *Allium*. *Theor. Appl. Genet.*, 86: 497-504.
- Williams J.G.K., Kubelik A.R., Livak K.J., Rafalski J.A., and Tingey S.V.,** 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Res.*, 18: 6531-6535.
- .

Annex 1: Primer sequences of bulb onion SSR markers, labeled primer, forward and reverse sequences, range of allele sizes (bp) and bibliographic reference.

	Marker name	Labeled primer	Forward primer sequence (5'-3')	Reverse primer sequence (5'-3')	Product size (bp)
1	ACM124	Q1-6-FAM	Q1-GCAAACCTTGAATCCCTTCCA	AACCCGTTAAGAGGAGGGAA	201-204
2	ACM235	Q1-6-FAM	Q1-ACGCATTTTCAAATGAAGGC	TGAGTCGGCACTCACCTATG	266-288
3	ACE080	Q2-NED	Q2-AGGATTAATAATGGGAGAAAGAGAT	TTGAGAATAAGAAGCCGCTTGA	300-250
4	ACM251	Q3-VIC	Q3-TCTCCACCACCATTTCATTCA	GAAGGTGTTTTCGGACAAGGA	161-171
5	ACM045	Q3-VIC	Q3-AAAACGAAGCAACAAACAAAA	CGACGAAGGTCATAAGTAGGC	264-271
6	ACM091	Q4-PET	Q4-TCTCCTCCTCTAACCAGCCA	GGTGCTCCAGTTGAGCTTTC	197-212
7	ACM229	Q4-PET	Q4-TACGAGCGGAGGTATGAGC	GCCAGGAAGGCGAGTAGTAA	267-288
8	ACM101	Q1-6-FAM	Q1-GTACTCGGGCAGTGGAGGTA	GGAGCTGTCCAAATGCTAGG	228-264
9	ACM300	Q2-NED	Q2-AGGTGCAGTTTCGTGGTAGG	TTAGCCCCTGGTAAGTGTGG	141-162
10	ACM187	Q2-NED	Q2-GTACTCGGGCAGTGGAGGTA	GGAGCTGTCCAAATGCTAGG	228-264
11	ACM138	Q3-VIC	Q3-ACGGTTTGATGCACAAGATG	CCAACCAACAGTTGATACTGC	235-268
12	ACM157	Q4-PET	Q4-GCTAGTTGTACCTGCGCCTC	TTGTTGTTGGTGTTCAGG	224-253
13	ACM177	Q1-6-FAM	Q1-GTACTCGGGCAGTGGAGGTA	GGAGCTGTCCAAATGCTAG	253-277
14	AMS17	Q2-NED	Q2-AGTGGACTCAAGGCAGATG	ATCACCATTACCGTTTACT	258-293
15	ACM004	Q2-NED	Q2-TCGTTCTTTAGAACACGTTAGGAAGG	TGTCGGCGGATATAGTGACA	201-210
16	ACM132	Q3-VIC	Q3-ATGGGGCCTGGTAAGTTTTT	TGCACACCGTTTCCATTTTA	200-228
17	AMS21	Q4-PET	Q4-GGTTGTTTCCACTACACTTGAG	CGTCCTTGGTATTCTTGTC	249-302

Q1: TGTAACGACGGCCAGT

Q2: TAGGAGTGCAGCAAGCAT

Q3: CACTGCTTAGAGCGATGC

Q4: CTAGTTATTGCTCAGCGGT

Annex 1: Primer sequences of bulb onion SSR markers, labeled primer, forward and reverse sequences, range of allele sizes (bp) and bibliographic reference. (follow up)

	Marker name	References
1	ACM124	Martinet al. 2005; McCallum et al. 2008; Khar et al. 2010
2	ACM235	Martinet al. 2005; McCallum et al. 2008; Khar et al. 2010
3	ACE080	Tsukazaki et al. 2008;
4	ACM251	Martinet al. 2005; McCallum et al. 2008; Khar et al. 2010
5	ACM045	Kuhl et al. 2004; Jakse et al. 2005; Lunelle et al. 2007; McCallum et al. 2008; Mahajan et al. 2009;
6	ACM091	Kuhl et al. 2004; Jakse et al. 2005; McCallum et al. 2008; Mahajan et al. 2009; Khar, 2010;
7	ACM229	Martinet al. 2005; McCallum et al. 2008; Khar et al. 2010
8	ACM101	Kuhl et al. 2004; Jakse et al. 2005; Lunelle et al. 2007; McCallum et al. 2008; Mahajan et al. 2009;
9	ACM300	Khar, 2010
10	ACM187	Jakse et al. 2005; Lunelle et al. 2007; McCallum et al. 2008; Mahajan et al. 2009;
11	ACM138	Martinet al. 2005; Jakse et al. 2005; Lunelle et al. 2007; McCallum et al. 2008; Mahajan et al. 2009; Khar et al. 2010
12	ACM157	Martinet al. 2005; McCallum et al. 2008; Khar et al. 2010
13	ACM177	Martinet al. 2005; McCallum et al. 2008
14	AMS17	Fischer et Bachmann, 2000; McCallum et al. 2008; Araki et al. 2010
15	ACM004	Kuhl et al. 2004; Jakse et al. 2005; Lunelle et al. 2007; McCallum et al. 2008; Mahajan et al. 2009; Khar, 2010;
16	ACM132	Martinet al. 2005; Jakse et al. 2005; Lunelle et al. 2007; McCallum et al. 2008; Mahajan et al. 2009;
17	AMS21	Fischer et Bachmann, 2000; McCallum et al. 2008; Araki et al. 2010

Annex 2: Analysis of variance (ANOVA) with two factors of allelic numbers per locus and landrace

Source	DF	SS	MS	F	P
Land	15	8.7396	0.58264	1.5	0.126
Locus	5	23.4271	4.68542	12.09	0.000
Erreur	75	29.0729	0.38764		
Total	95	61.2396			

DF: Degrees of freedom, **SS:** Sum of squares, **MS:** mean square, **P:** Probability

Annex 3: F-Statistic over all loci and landrace

		N	Na	Ho	He	F
Total	Mean	13.760	2.865	0.400	0.452	0.098
	SE	0.159	0.082	0.021	0.017	0.030

Na: Allelic number, **H_O** and **H_e** are observed and expected heterozygosity, **SE:** Standard error, **F:**

Fixation Index

Annex 4: F-Statistics over all landraces for each locus

	ACM045	ACM091	ACM132	ACM229	ACM251	ACM138	Mean	SE
F_{IS}	-0.058	0.135	0.131	0.059	0.323	0.094	0.114	0.051
F_{IT}	0.051	0.267	0.267	0.126	0.422	0.204	0.223	0.053
F_{ST}	0.103	0.153	0.157	0.072	0.145	0.121	0.125	0.014

F_{IS}: Inbreeding coefficient within individuals relative to the landrace, **F_{IT}:** Inbreeding coefficient within individuals relative to the total, **F_{ST}:** Inbreeding coefficient within landrace relative to the total.

6. Conclusion et perspectives

L'oignon est la culture maraichère la plus importante au Niger à cause de sa place dans les systèmes de production, l'économie et l'alimentation. La filière oignon représente une alternative efficace pour compenser une mauvaise campagne agricole de saison des pluies et pour diversifier des sources de revenus des producteurs du Niger (Cathala et *al.*, 2003). Le secteur est une importante source d'argent supplémentaire pour les producteurs, les fournisseurs d'intrants, les intermédiaires et transporteurs, la main-d'œuvre agricole, les dockers et l'État. Cette filière contribue à restreindre l'exode rural des populations locales et elle attire beaucoup de gens à la recherche de revenus supplémentaires. Premier pays exportateur d'oignon en Afrique de l'Ouest, le Niger a développé un réseau commercial permettant d'approvisionner les principaux marchés du Bénin, de la Côte d'Ivoire, du Ghana, du Nigeria, et du Togo (Egg et Wade, 2006).

Selon Currah (2002), des efforts ont été fournis pour identifier, collecter et conserver les variétés et les écotypes d'oignon, mais l'érosion génétique demeure encore une menace au Niger. La conservation des écotypes locaux nécessite une caractérisation génétique du matériel collecté. Afin de déterminer les écotypes d'oignon cultivés et conservés par les producteurs du Niger, nous tentons, à travers une approche pluridisciplinaire, de répondre à trois questions : (i) Comment est perçue, nommée et classée la diversité génétique de l'oignon par les producteurs du Niger ? (ii) Comment cette diversité génétique est-elle structurée entre et à l'intérieur des écotypes d'oignon ? (iii) Quels sont les critères qui ont pu générer cette différenciation entre et à l'intérieur des écotypes d'oignon ?

6.1. Analyse de la diversité génétique de l'oignon du Niger

La variabilité génétique des écotypes d'oignon conservés *in situ* par les producteurs a été analysée à partir de trois approches complémentaires : (i) diversité nommée, (ii) diversité morphologique et agronomique, (iii) diversité moléculaire.

6.1.1. Analyse de la diversité nommée

L'étude de la taxonomie locale et l'analyse des critères des paysans pour caractériser les différents écotypes d'oignon nous ont permis de montrer que cinquante-deux écotypes nommés ont été inventoriés, mais après analyse et regroupement des synonymes, il ressort que 17 écotypes sont cultivés au Niger. Boukary et *al.* (2012), dans une étude sur l'interaction entre la variabilité des écotypes d'oignon et les facteurs agro-climatiques au Niger, ont identifié 21 écotypes. Il est à noter que cette différence s'explique par l'utilisation de doublons de la variété *Violet de Galmi* dans leurs échantillons. Selon les mêmes auteurs, les morphotypes d'un seul écotpe de la zone des vallées *Ader-Doutchi-Maggia*, qui sont localement nommés *Tassa* (morphotype de forme aplatie de bulbe), *Tawarka* (morphotype de forme sphérique de bulbe) et *Kankaré* (morphotype de forme allongée de bulbe), devraient être considérés comme trois écotypes différents.

Les résultats de nos enquêtes montrent que des variétés améliorées et des écotypes locaux d'oignon sont cultivés au Niger. Si la variété locale améliorée du Niger *Violet de Galmi* est cultivée dans toutes les zones de production, on trouve plusieurs écotypes locaux d'oignon qui sont produits uniquement dans des zones de productions spécifiques. Les producteurs du Niger utilisent les semences produites par eux-mêmes ainsi que celles provenant de la variété améliorée du *Violet de Galmi* fournies par la société TECHNISEM.

Cette étude confirme la perte de diversité dans la zone des vallées *Ader-Doutchi-Maggia*, la principale zone de production de l'oignon. Selon Nabos (1976), l'Institut de Recherche Agricole Tropicale (IRAT) du Niger dispose dans sa collection de 21 écotypes de cette zone de production. Pourtant, dans une étude conduite par Moumouni en 2006, seuls 4 écotypes sont identifiés dans cette zone et nos propres enquêtes dans la même zone n'identifient que trois écotypes. Par exemple, l'écotype *Violet de Madaoua* qui ressemble beaucoup au *Violet de Galmi*, mais dont la coloration du bulbe est violet-foncé selon Moumouni (2006), n'a pas été retrouvé.

Rouamba et *al.* (1997) ; Currah (2002) ; INRAN (2004) et Moumouni (2006) ont signalé que les variétés améliorées par l'IRAT *Blanc de Galmi* et *Blanc de Soumarana* sont cultivées au Niger. Cependant, dans le cadre de cette étude, il ne nous a pas été possible de trouver les semences de ces variétés améliorées par l'IRAT.

L'analyse de la taxonomie locale montre que les critères qui sont les plus utilisés par les producteurs d'oignon du Niger pour catégoriser les écotypes sont la couleur des bulbes et l'écologie spécifique. En réalité, dans le cas présent, ces critères ne sont pas du point de vue scientifique, suffisamment pertinent, pour distinguer les écotypes d'oignon, du moins ceux relatifs à la zone de production.

6.1.2. Analyse de la diversité morphologique et agronomique

L'évaluation morphologique et agronomique des écotypes d'oignon, avec l'aide de 19 descripteurs scientifiques de “*International Plant Genetic Resources Institute*” actuelle “*Biodiversity International*” (IPGRI, 2001), montre une diversité considérable entre et à l'intérieur des écotypes d'oignon du Niger. Les variables morphologiques quantitatives et qualitatives les plus distinctives entre les écotypes d'oignon sont la longueur, la largeur et la couleur des feuilles, le poids des bulbes, la forme et la couleur des bulbes, ainsi que l'uniformité de la forme et de la couleur des bulbes.

L'analyse de la diversité génétique à partir des caractères morphologiques, à l'aide de l'indice de Gower, montre que les plus grandes valeurs de la distance ont été trouvées entre l'écotype de la zone du Fleuve : *Blanc de Gotheye* et ceux de la zone du Lac Tchad : *El Guidimouni* et *El Gamdou*. La distance génétique est plus grande, d'une part, entre les écotypes les plus éloignées géographiquement et, d'autre part, entre les écotypes présentant de fortes différences morphologiques. Cependant, le test de Mantel indique que la corrélation entre les données géographiques et les données morphologiques n'est pas significative.

A l'intérieur de la plupart des écotypes étudiés, nos résultats, à partir des valeurs de l'indice de Gower, montrent l'existence d'une grande variabilité morphologique. Cependant, les écotypes *Blanc de Gotheye*, *Rouge de Gaya* et *El Nigeria* sont les plus homogènes pour les caractères étudiés. La variabilité morphologique intra écotype est plus grande que la variabilité inter écotype. Des résultats similaires ont été obtenus pour les variétés locales de l'oignon d'Afrique de l'ouest par Ricroch et *al.* (1996).

6.1.3. Analyse de la diversité moléculaire

L'Analyse Moléculaires des Variances (AMOVA) et les valeurs de F_{st} par pair d'écotypes d'oignon testés, sur les données obtenues à l'aide des marqueurs moléculaires microsatellites, indiquent des divergences génétiques significatives entre écotypes, y compris entre ceux cultivés dans les mêmes

zones de production. Ces écotypes sont donc génétiquement originaux. Le flux de gènes entre les écotypes génétiquement originaux serait limité du fait de l'isolement géographique ou de la sélection massale éliminant les hors types. Au Niger, la diffusion limitée des semences paysannes peut s'expliquer par le fait que de nombreux producteurs reproduisent eux-mêmes leurs propres semences, à l'exception de la variété améliorée *Violet de Galmi* largement diffusée à l'échelle nationale.

Une variabilité importante intra écotype a aussi été observée chez 86% des écotypes testés à partir de l'analyse de la diversité génétique avec les caractères morphologiques ; cela pourrait être due aux flux de gènes provenant de la diffusion de la variété améliorée *Violet de Galmi* à proximité des parcelles occupées par des écotypes locaux. Rouamba et al. (2001) et Tsukazaki et al. (2010) ont trouvé des résultats similaires, respectivement chez les écotypes d'oignon cultivés en Afrique occidentale et chez les variétés de l'espèce *Allium fistulosum* L cultivées au Japon.

Les valeurs d'hétérozygotie observée et attendue, du nombre d'allèles, et de *Fis*, obtenues grâce à l'utilisation des marqueurs moléculaires microsatellites, montrent que le niveau de diversité génétique varie de 0,30 pour l'écotype *Blanc de Gotheye* à 0,58 pour la variété améliorée *Violet de Galmi* fournies par la société TECHNISEM. Les valeurs zéro de *Fis* pour l'ensemble des écotypes suggèrent un taux d'autofécondation très faible à l'intérieur des écotypes, et indiquent une situation qui correspondrait à celle de la panmixie. La reproduction allogame maintient un niveau d'hétérogénéité génétique qui pourrait favoriser une adaptabilité face aux fluctuations du milieu environnemental de ces écotypes dans les systèmes de cultures traditionnelles du Niger. Cependant une trop forte allogamie ne permet pas de maintenir une bonne stabilité ou l'intégrité génétique des écotypes (Demol et al., 2002).

6.2. Analyse de la structuration génétique des écotypes d'oignon du Niger

La structuration de la diversité nommée montre une organisation spatiale et linguistique des écotypes d'oignon listés. Cette structuration linguistique a été observée chez les variétés d'oignon de l'Afrique de l'ouest par Rouamba et al. (2001). En effet, le groupe génétique d'oignon des pays francophones s'est différencié des variétés du Nigéria qui est un pays anglophone.

La classification hiérarchique ascendante et l'analyse factorielle discriminante sur neuf caractères quantitatifs montrent que cette diversité peut être structurée en trois groupes : (i) le premier groupe est

formé des écotypes à bulbes de petite taille avec de faibles valeurs pour les caractères quantitatifs des feuilles tels la longueur, le diamètre et le poids des feuilles ; (ii) le deuxième groupe est constitué des écotypes à bulbes de gros calibre avec de faibles valeurs pour les caractères quantitatifs des feuilles ; (iii) et le troisième groupe est caractérisé par des écotypes à bulbes de gros calibre avec des valeurs élevées pour la longueur, le diamètre et le poids des feuilles. L'analyse des correspondances multiples à partir des caractères morphologiques qualitatifs montre que les écotypes de l'oignon du Niger sont structurés en cinq groupes. L'écotype *Blanc de Gotheys*, situé dans la zone du fleuve Niger, forme le premier groupe, caractérisé par la couleur verte claire des feuilles, des bulbes à forme sphérique et divisés, l'uniformité de couleur et de forme des bulbes, des bulbes de petit calibre à maturité très précoce. Le deuxième groupe, formé par les individus de l'écotype *El Guidimouni*, se distingue par la maturité très tardive des bulbes et une variabilité dans la couleur et la forme des bulbes. Les individus des écotypes *Rouge de Gaya* et *El Nigeria*, caractérisés par des plantes dont les feuilles sont de couleur verte foncée et les bulbes de couleur et de forme homogène, forment respectivement le troisième et le quatrième groupe, mais les individus du groupe 3 ont des bulbes de couleur rouge et ceux du groupe 4 ont des bulbes de couleur violette foncée. Tous les autres écotypes forment le groupe 5, caractérisé par des plantes dont la couleur des feuilles est verte, et qui présente des couleurs et des formes variables des bulbes.

L'Analyse en Coordonnées Principales (PCoA) à partir des données moléculaires montre une structuration morphologique et géographique de la diversité des écotypes analysés, similaire à celle observée à partir, d'une part, de la structuration de la diversité nommée lors des analyses de la perception de la diversité par les producteurs et, d'autre part, de la structuration phénotypique provenant de l'évaluation morphologique et agronomique.

Les analyses de la diversité nommée ont mis en évidence une organisation spatiale des écotypes listés. En effet, les producteurs de la zone du Fleuve Niger et ceux de la zone du Lac Tchad donnent des noms différents aux écotypes listés, ce qui se reflète par des différences morphologiques, sur base des descripteurs de l'IPGRI. Les calculs de distance F_{st} , à l'aide des données générées par les marqueurs moléculaires microsatellites, mettent en évidence de grandes distances génétiques entre les écotypes de la zone du Fleuve Niger et ceux de la zone du Lac Tchad.

Cette approche interdisciplinaire s'appuyant sur des outils propres à l'évaluation des caractères morphologiques et agronomiques, aux enquêtes en milieu paysan et à la biologie moléculaire contribue à une meilleure caractérisation de la diversité génétique des écotypes d'oignon du Niger. Toutefois, d'autres caractéristiques des variétés de l'oignon n'ont pas fait l'objet d'une évaluation dans le présent travail. Au Niger, les écotypes sont classés en fonction de leur goût : sucré, piquant et moins piquant. La variété améliorée *Violet de Galmi* est incontestablement la plus appréciée des consommateurs à cause de son goût piquant. Les composés organo-sulfurés donnent à l'oignon son goût et son odeur spécifique (Kamenetsky et al., 2005). Des analyses biochimiques par la Chromatographie Liquide Haute Performance (HPLC) peuvent contribuer à la caractérisation des écotypes d'oignon du Niger grâce à la détermination de la concentration des composés organo-sulfurés, et du goût de ces écotypes (Randle et Lancaster, 2002).

6.3. Perspectives

6.3.1. Intérêt des résultats pour la conservation et la gestion de la diversité génétique

La caractérisation de la diversité génétique de l'oignon du Niger montre une variabilité considérable de types nommé, morphologique et moléculaire entre et à l'intérieur des écotypes. Des écotypes d'oignon cultivés au Niger sont menacés de disparition face à l'introduction massive et la diffusion à grande échelle de la variété améliorée *Violet de Galmi*. Les flux de gènes sont principalement expliqués par les échanges de semences entre producteurs et la pollinisation croisée de l'oignon, et constituent une menace pour la stabilité génétique des écotypes du Niger. En guise de solution, la conservation *ex situ* dans des banques de gènes et *in situ* en milieu paysan des écotypes d'oignon du Niger est essentielle pour une exploitation durable de cette diversité. Louette et al. (1997), Caillon (2005) et Barnaud (2007) ont signalé que la conservation de la biodiversité agricole doit être une entreprise dynamique, associant à la fois des techniques *in situ* à la ferme et *ex situ* dans des banques de gènes.

6.3.1.1. Conservation à la ferme

Au Niger, des nombreux écotypes locaux tels que *Blanc de Gotheye*, *Rouge de Gaya*, *Blanc de Soukoukoutan*, *El Tassaou*, *El Gamdou*, *El Guidimouni*, *Irin Rani* sont adaptés à des zones de productions particulières. Il est important de conserver cette diversité biologique des écotypes

d'oignon *in situ* dans les cinq différentes zones de production du pays. En Afrique, plus de 80% des producteurs dépendent encore de système traditionnel de production de semences basés sur la pratique familiale d'utilisation d'une partie de la récolte précédente comme semence (IPGRI, 2001). Le système de production traditionnel des producteurs du Niger constitue un facteur important de conservation *in situ* des écotypes locaux d'oignon. Toutefois, la production des semences du *Violet de Galmi* dans les mêmes sites de multiplication des écotypes locaux pourrait conduire à un flux de gènes entre ces différents types d'oignon à cause de la pollinisation croisée observée chez cette espèce, avec le risque de perdre l'intégrité génétique des écotypes locaux. Pour les stratégies de conservation des écotypes d'oignon à la ferme, il est impératif de concilier une meilleure prise en compte des facteurs sociaux comme le mode d'acquisition des semences et les facteurs biologiques de l'espèce.

Les actions de conservation *in situ* peuvent intervenir aux niveaux des écotypes locaux et des zones de production qui leur servent de support. L'idée est de créer, dans les différentes zones de production de l'oignon du Niger, des zones de protection où ces écotypes seront conservés dans des champs.

Le maintien par les producteurs des écotypes d'oignon du Niger dans les systèmes de cultures locaux, où se sont développés leurs caractères distinctifs, comme la forme et la couleur des bulbes, la couleur et la longueur des feuilles, implique des efforts de conservation *in situ* des écotypes. De ce fait, Il est important d'échanger les connaissances entre différents partenaires : principalement entre les chercheurs et les producteurs d'oignon. Il faut aussi renforcer les capacités des producteurs à comprendre, analyser, gérer les ressources phytogénétiques pour leur utilisation durable.

6.3.1.2. Conservation dans des banques de gènes

La conservation *ex situ* inclut la conservation des graines séchées, stockées à basse température dans des collections nationales et internationales. Le maintien et la gestion des collections *ex situ* nécessite aussi la régénération de semences collectées à la ferme. L'*Institut National de la Recherche Agronomique du Niger* (INRAN) pourrait assurer à l'aide des techniques modernes et fiables une conservation à court, moyen et long terme des morphotypes et écotypes. Pour les graines orthodoxes comme celles de l'oignon, le séchage des graines avec de l'air à 15°C et à 10-15% d'humidité relative, suivi du stockage de celles-ci dans des contenants hermétiques (Ex : sachets d'aluminium) en chambres froides à des températures inférieures ou égales à moins 18°C permettent de préserver le

pouvoir germinatif des graines le plus longtemps possible (IPGRI, 2001). Le but de cette collection est de disposer d'une large représentation de la diversité génétique de l'oignon du Niger, et de pouvoir réaliser des études approfondies afin d'identifier des morphotypes et écotypes bien distincts sur base de critères fiables et de les utiliser dans les programmes de gestion durable.

6.3.2. Intérêt des résultats pour l'amélioration des écotypes d'oignon du Niger

Lors de cette étude, nous avons observé que la plupart des écotypes cultivés au Niger ont une base génétique large caractérisée par une grande hétérogénéité des descripteurs qualitatifs de bulbes, et une montaison prématurée des écotypes d'oignon en première année de culture. Les conditions actuelles de culture et de marché exigent une homogénéité du calibre, de la forme et de la couleur des bulbes, et une longue durée de conservation. Pour surmonter les problèmes d'hétérogénéité des bulbes à l'intérieur d'un écotpe et obtenir des pourcentages plus élevés de bulbes de qualité recherchée (uniformité de la forme, de la couleur et du calibre des bulbes), le travail de sélection devra être orienté vers un processus d'amélioration de ces caractéristiques de bulbes pour obtenir des variétés plus productives et susceptibles d'être cultivées dans une vaste gamme d'environnements.

6.3.2.1. Amélioration d'uniformité de la forme, de la couleur et du calibre de bulbes

La collection des écotypes d'oignon du Niger qui serviront dans différents programmes d'amélioration doit être épurée pour éliminer les «*hors-types*». Foury et Schweisguth (1992) indiquent que les critères et techniques mises en œuvre pour l'amélioration de l'oignon diffèrent peu des autres espèces allogames. La sélection massale, la sélection récurrente, le développement de variétés synthétiques et de variétés hybrides, sont les techniques de sélection les plus utilisées pour améliorer l'oignon (Shigyo et Kik, 2008). La sélection de l'oignon est lente et difficile du fait que cette espèce est bisannuelle, allogame, délicate à castrer manuellement, et qu'elle présente une forte sensibilité à la consanguinité.

Les caractères importants des écotypes d'oignon du Niger à améliorer sont l'uniformité de la forme, de la couleur et du calibre de bulbes. Ces caractéristiques peuvent être fortement homogénéisées à partir de la méthode de sélection massale, au départ de variétés hétérogènes déjà connues. Cette méthode peut être utilisée non seulement pour produire de nouvelles variétés, mais aussi pour conserver la pureté des variétés, par élimination des types aberrants qui apparaissent à la suite des ségrégations ou des contaminations.

Le développement de variétés hybrides F1 de l'oignon a été facilité grâce à l'exploitation de la stérilité mâle géno-cytoplasmique. La méthode implique l'obtention de lignées fortement homozygotes, suivie d'une hybridation entre lignées qui manifestent une bonne aptitude à la combinaison. Les variétés hybrides sont uniformes et vigoureuses. Cependant, le maintien de l'hétérosis nécessite le renouvellement des semences hybrides à chaque culture.

En outre, pour profiter de *l'effet hétérosis* des variétés hybrides F1, les plantes générées devront être bien irriguées, complémentées fortement en engrais chimiques et protégées par des pesticides (Grandval, 2011). Dans les conditions actuelles de production de l'oignon du Niger, l'itinéraire technique ne semble pas être approprié pour exploiter et rentabiliser *l'effet hétérosis* des variétés hybrides F1.

6.3.2.2. *Amélioration de l'aptitude à la conservation.*

L'amélioration de l'aptitude à la conservation va permettre de prolonger la durée de conservation des variétés de l'oignon du Niger en vue de leur exportation vers les gros consommateurs des villes ou pays éloignés des zones de production et de diminuer l'effet saisonnier des prix à la vente. La sélection va porter sur le taux de matière sèche, la fermeté des bulbes et l'adhérence des tuniques pour éviter la pourriture. A ce sujet, nos enquêtes ont mis en évidence une utilisation intensive des engrais minéraux par les producteurs d'oignon du Niger. Or, cette utilisation intensive des engrais minéraux augmente la quantité d'eau déjà très élevée stockée dans les bulbes de l'oignon. Pour augmenter la durée de conservation des bulbes et diminuer les pertes durant le stockage, nous conseillons aux producteurs d'utiliser du compost à la place des engrais minéraux et de valoriser la rotation culturale pour l'amélioration de la fertilité des sols.

6.3.2.3. *Sélection des écotypes adaptés à la culture pluviale.*

Les résultats d'enquêtes de la taxonomie locale et l'analyse des critères des paysans montrent que les producteurs utilisent ce critère "*culture pluviale*" pour classer leurs écotypes. En plus de la production de l'oignon en saison fraîche et sèche, la production en culture pluviale pourrait permettre au producteur du Niger de mettre des oignons sur le marché pendant une période plus longue et de bénéficier de prix plus rémunérateurs. Des variétés bien adaptées aux conditions climatologiques de la

saison des pluies et résistantes aux maladies, comme la pourriture du collet et la pourriture blanche, seront sélectionnées.

6.3.2.4. *Amélioration du système de multiplication et diffusion des semences.*

Premier pays exportateur d'oignon de l'Afrique de l'ouest, le Niger est aussi le premier importateur des semences certifiées de la même zone. Les réseaux de distribution proposent soit des semences produites localement, soit des *semences certifiées* produites par des sélectionneurs privées (Ex : la société TECHNISEM). Les semences de la variété améliorée *Violet de Galmi*, produites et diffusées par des sélectionneurs privées, constituent les seules semences certifiées utilisées par les producteurs d'oignon du Niger. Les semences des autres écotypes identifiés dans le cadre de cette étude proviennent de l'autoproduction paysanne à la ferme afin d'éviter les coûts d'achat pour le renouvellement des semences chaque année.

Pour la production de semences, des bulbes sont produits en première année à partir des graines. Ces bulbes sont ensuite conservés en conditions ambiantes à l'abri des pluies et du soleil avant d'être transplantés en deuxième année dans des planches. Pendant la conservation, les bulbes hors types peuvent être éliminés.

Il est impérieux que les producteurs semenciers respectent la distance d'isolement d'au moins 1500 m entre les parcelles de multiplication des variétés différentes pour réduire les problèmes de contamination causés par le flux pollinique.

6.4. Références bibliographiques

- Barnaud A.**, 2007. Savoirs, pratiques et dynamique de la diversité génétique : le sorgho (*Sorghum bicolor* ssp. *bicolor*) chez les Duupa du nord Cameroun, *Thèse Université Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc*, 135 p.
- Boukary H., Roumba A., Adam T., Barage M. & Saadou M.**, 2012. Interactions entre la variabilité des écotypes de l'oignon (*Allium cepa* L.) et les facteurs agro-climatiques au Niger. *TROPICULTURA*, 30 (4), 209-215.
- Caillon S.**, 2005. Pour une conservation dynamique de l'agrobiodiversité : Gestion locale de la diversité variétale d'un arbre « des blancs » (cocotier, *Cocos nucifera* L.) et d'une plante « des ancêtres » (taro, *Colocasia esculenta* (L.) Schott) au Vanuatu. *Thèse de Doctorat, Orléans, Université d'Orléans*, 418 p.
- Cathala M., Woin N. & Essang T.**, 2003. L'oignon, une production en plein essor en Afrique sahélo-soudanienne : le cas du Nord-Cameroun. *Cahiers Agricultures*, 12 (4), 261-266.
- Currah L.**, 2002. Onions in the Tropics: Cultivars and Country Reports. In *Allium Crop Science: Recent advances*, ed. H.D. Rabinowitch and L. Currah, 379-408. Wallingford, Oxon, UK: CABI Publishing; New York, NY, USA: CABI Publishing.
- Demol J., Baudoin J.-P., Louant B.-P., Marechal R., Mergeai G. & Otoul E.**, 2002. Amélioration des plantes. Application aux principales espèces cultivées en régions tropicales. Presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, 582 p.
- Egg J., & Wade I.**, 2006. Bilan et perspectives des cultures vivrières dans les pays du Sahel. *Cahiers d'études et de recherches francophones/Santé*, 16(4), 271-278.
- Foury C. & Schweisguth B.**, 1992. L'oignon. In : Gallais A. & Bannerot H., eds., *Amélioration des espèces végétales cultivées*, INRA, Paris, 406-419.
- Grandval F.**, 2011. Quelques définitions clés pour aborder ce dossier « semences », *Grain de sel*, 52-53 : 39-40.
- INRAN**, 2004. *Rapport d'activité*, Collecte et épuration des cultivars locaux d'oignon, Rapport d'activité de la campagne 2002 -2003, PPEAP & INRAN, 12 p.

- IPGRI, ECP/GR, AVRDC**, 2001. *Descriptors for Allium (Allium spp.)*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy; European Cooperative Programme for Crop Genetic Resources Networks (ECP/GR), Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan, 43p.
- Kamenetsky R. & al.**, 2005. Diversity in fertility potential and organo-sulphur compounds among garlies from Central Asia. *Biodivers. Conserv.*, 14, 281-295.
- Louette D., Charrier A., Berthaud J.**, 1997. *In situ* conservation of maize in Mexico: Genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Economic Botany*, 51, 20-38
- Moumouni A.D.**, 2006. Les effets de la réappropriation de la culture du Violet de Galmi par les producteurs d'oignon de la région de Tahoua – NIGER, sur la dynamique du territoire local, l'organisation sociale et économique, *Thèse de doctorat, Université de Toulouse-Le Mirail*, 281 p.
- Nabos J.**, 1976. L'amélioration de l'oignon (*Allium cepa* L.) au Niger. *Agronomie tropicale*, Vol XXXI, N°4, IRAT Paris, 387- 397.
- Randle W.M. & Lancaster, J.E.**, 2002. Sulfur compounds in *Alliums* in relation to flavour quality. In *Allium Crop Science: Recent advances*, ed. H.D. Rabinowitch and L. Currah, 329-356. Wallingford, Oxon, UK: CABI Publishing; New York, NY, USA: CABI Publishing.
- Ricroch A, Rouamba A & Sarr A**, 1996. Valorisation de la production de l'oignon en Afrique de l'Ouest par la gestion dynamique de ses ressources génétiques. *Acta bot. Gallica* 143 (2/3) : 101-106.
- Rouamba A, Sarr A & Ricroch A**, 1997. Dinamic management of genetic ressource of *Allium cepa* L. (Onion) in west Africa, *Acta Hort.* 433 : 185-189
- Rouamba A, Sandmeier M, Sarr A & Ricroch A**, 2001. Allozyme variation within and among populations of onion (*Allium cepa* L.) from West Africa, *Theoretical and Applied Genetics* 103 (6/7) : 855-861.
- Shigyo M. et Kik C.**, 2008. Onion. In : Prohens J. and Nuez F., eds. *Vegetables II fabaceae, liliaceae, solanaceae, and umbelliferae*. Springer, New York, 121-159.
- Tsukazaki H., Honjo M., Yamashita K. I., Ohara T., Kojima A., Ohsawa R., & Wako T.**, 2010. Classification and identification of bunching onion (*Allium fistulosum*) varieties based on SSR markers. *Breeding science*, 60(2), 139-152.